



საქართველოს ტექნიკური  
უნივერსიტეტი  
1922 წლიდან

ეკა სარიშვილი

## მხატვრული ავეჯის რთულპროფილიანი მოცულობითი ელემენტების ჭრის პროცესის კვლევა

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა მექანიკის ინჟინერია და ტექნოლოგია

შიფრი 0715

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 0160, საქართველო

2023 წ

## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ფაკულტეტი სატრანსპორტო სისტემებისა და მექანიკის ინჟინერია

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ეკა სარიშვილის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „მხატვრული ავეჯის რთულპროფილიანი მოცულობითი ელემენტების ჭრის პროცესის კვლევა“ ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო, ტექნოლოგიური და საბუნებისმეტყველო საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

-----, ----- 2023 წელი

სამეცნიერო ხელმძღვანელები:

პროფესორი: \_\_\_\_\_

პროფესორი: \_\_\_\_\_

რეცენზენტი:

პროფესორი \_\_\_\_\_

პროფესორი \_\_\_\_\_

## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2023 წ.

ავტორი: ეკა სარიშვილი

დასახელება : მხატვრული ავეჯის რთულპროფილიანი მოცულობითი  
ელემენტების ჭრის პროცესის კვლევა

სადოქტორო პროგრამა: მექანიკის ინჟინერია და ტექნოლოგია

მისანიჭებელი კვალიფიკაცია: მექანიკის ინჟინერიისა და ტექნოლოგიის დოქტორი  
სხდომა ჩატარდა \_\_\_\_\_

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ  
ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის  
შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების  
უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა \_\_\_\_\_

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი  
ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მე-  
თოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის  
გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით  
დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის  
ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერა-  
ტურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულე-  
ბისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

## რეზიუმე

ნაშრომი ეძღვნება აქტუალურ საკითხს, რომელიც ეხება მერქნისა და მერქნული კომპოზიციური მასალებისაგან ავეჯის და მისი ელემენტების წარმოებას, რომელიც იზრდება ყოველწლიურად. აქედან გამომდინარე მერქნისა და მერქნული კომპოზიციური მასალებისაგან დამამუშავებელი ჩარხების და მოწყობილობების მწარმოებლურობის გაზრდა, პროდუქციის ხარისხის ამაღლება და თვითღირებულების შემცირება დაკავშირებულია ახალი ტიპის ტექნოლოგიების გამოყენებაში, ცნობილი ტექნოლოგიების მოდერნიზაციაში და დასამუშავებელი ჩარხების და მოწყობილობების რეკონსტრუქციაში. ამ საკითხების გადასაწყვეტად სადისერტაციო სამუშაოს მიზნად დასახული იყო სახარატო-საფრეზი-საკოპირე ჩარხის მოდერნიზაცია, მისი ტექნოლოგიური შესაძლებლობების გაფართოება, დამუშავების ტექნოლოგიური დროის შემცირება და დამუშავებული ზედაპირების სისუფთავის ამაღლება. ამ მიზნების მისაღწევად ავტორმა შეისწავლა ავეჯის ცილინდრული ზედაპირების მექანიკური დამუშავების ცნობილი მეთოდები და შემოგვთავაზა გამოვიყენოთ ავეჯის ცილინდრული ფასონური ელემენტების დამზადების ახალი, ნოვაციური, სწრაფი როტოფრეზირების მეთოდი რომელიც ტექნოლოგიური და ეკონომიკური გათვლებით აღმოჩნდა ძალზე პროგრესული ტრადიციული ახარატების პროცესთან შედარებით. ამასთანავე ავტორმა ეს მეთოდი დაამუშავა კონსტრუქციულად და სახარატო-საფრეზი-საკოპირე ჩარხი აღჭურვა ორმაგი ერთდროული დამუშავების მოწყობილობით ერთის მხრივ როტოფრეზირების ამძრავით და დისკური ფრეზით მეორე მხრივ სახეხი ინსტრუმენტით თავისი ამძრავით.

ეს ნოვაციური კონსტრუქცია გვამლევს ავეჯის ცილინდრული ელემენტების დამუშავებას უმცირეს დროის მანძილში აგრეთვე ერთდროული ხეხვის პროცესის გამოყენება როტოფრეზირებასთან ერთად დამუშავებული ზედაპირების სისუფთავის ამაღლებას.

ავტორის მიერ შესწავლილია სხვადასხვა ფაქტორების გავლენა შემოთავაზებულ როტოფრეზირების პროცესზე, რისთვისაც ჩატარებულია მრავალი ექსპერიმენტი პროცესის ენერგოძალური პარამეტრების დადგენაზე და მჭრელი ინსტრუმენტის ცვეთამედეგობის გაზრდაზე.

ყველა ექსპერიმენტი ჩატარებულია მათემატიკური დაგეგმვის მეთოდის გამოყენებით და გამოყვანილია რეგრესიის განტოლებები ჭრის მდგენელი ძალების დამოკიდებულება მჭრელი ინსტრუმენტის კუთხური პარამეტრებზე და დამუშავების ჭრის რეჟიმებზე. ექსპერიმენტების შედეგად მიღებული რეგრესიის განტოლებების საფუძველზე აგებულია შესაბამისი გრაფიკები, რომლის საფუძველზე შეიძლება გაიცეს პრაქტიკული რეკომენდაციები ნოვაციური მეთოდის გამოყენებაზე წარმოებაში.

ნაშრომში შესწავლილია მჭრელი ინსტრუმენტის კბილების ცვეთამედეგობის საკითხები მერქანპოლიმერული კომპოზიტების დამუშავებისას და ნაჩვენებია მათი ზრდის გზები. გამოკვლეულია, რომ მჭრელი

ინსტრუმენტის კბილების ზედაპირებზე ცვეთამდედგობითი დაფარვის ტიტანის ნიტრიდით შესაძლებელია მჭრელი ინსტრუმენტის ცვეთამდედგობის რამოდენიმეჯერ გაზრდა.

მაშასადამე ზემოაღნიშნული მერქნისა და მერქნული მასალების დამუშავების ინოვაციური მეთოდები და ამ მეთოდებზე ჩატარებული კვლევები. თავისი შედეგებით შეიძლება ჩაითვალოს სერიოზულ მიღწევად მერქნის და მერქნული პოლიმერული კომპოზიციური მასალების დამუშავების ტექნოლოგიური ოპტიმიზაციისთვის და მწარმოებლობის გაზრდისათვის.

## Abstract

The work is devoted to the topical issue of the production of furniture and its components from wood and wood composite materials that is increasing annually. Therefore, increasing the productivity of processing tools and equipment from wood and wood composite materials, increasing the quality of products and reducing the cost of production are related to the application of new technologies, modernization of known technologies and reconstruction of processing tools and equipment. To solve these issues, the aim of the dissertation work is to modernize the lathe-milling-copying machine, expand its technological capabilities, reduce the technological time of processing and increase the roughness of the processed surfaces. In order to achieve these goals, the author studied the well-known methods of mechanical processing of cylindrical surfaces of furniture and proposed to use a new, innovative, fast roto-milling method of manufacturing cylindrical shaped furniture elements, which, according to technological and economic calculations, turned out to be very progressive compared to the traditional akharat process. At the same time, the author processed this method constructively and equipped the lathe-milling-copy machine with a double simultaneous processing device on the one hand with a roto-milling drive and on the other hand with a disk milling machine with a grinding tool with its own drive.

This innovative design gives the possibility to process the cylindrical elements of furniture in the shortest time, as well as to use the simultaneous milling process with roto-milling to increase the cleanliness of the treated surfaces.

The author has studied the influence of various factors on the proposed roto-milling process, for which many experiments have been conducted to determine the energy parameters of the process and to increase the wear resistance of the cutting tool.

All experiments were conducted using the mathematical planning method and regression equations were derived for the dependence of the cutting forces on the angular parameters of the cutting tool and the cutting modes of processing. Based on the regression equations obtained as a result of the experiments, appropriate graphs are built, on the basis of that practical recommendations can be made on the use of the innovative method in production.

In the work are conditions the issues of the wear resistance of the teeth of the cutting tool during the processing of wood-polymer composites and shows the ways of their growth. It has been investigated that it is possible to increase the wear resistance of the cutting tool by several times with titanium nitride coating on the surfaces of the teeth of the cutting tool.

Therefore, innovative methods of processing the above-mentioned wood and wood materials and research conducted on these methods. With its results, it can be considered a serious achievement for technological optimization of wood and wood polymer composite materials processing and productivity increase.

## შინაარსი

შესავალი .....	12
1. ლიტერატურის მიმოხილვა .....	18
2. უნივერსალური სახარატო-საფრეზი-საკოპირე ჩარხი .....	58
2.1. ჩარხის მოდერნიზაციის დასაბუთება .....	58
2.2. ჩარხის მოდერნიზაციის მიზანი .....	59
2.3. ჩარხის კონსტრუქციული სქემა .....	61
2.4. ჩარხის მოდერნიზებული კვანძის სქემა .....	63
2.5. მოდერნიზებული კვანძის გაანგარიშება .....	64
2.6. პირდაპირი ამოცანა .....	65
2.7. შებრუნებული ამოცანა .....	67
2.8. კვანძის ძალოვანი გაანგარიშება .....	68
2.9. ჩარხის მწარმოებლობა .....	70
3. მერქანმჭრელი ინსტრუმენტის ცვეთამედეგობის კვლევა .....	72
3.1. საჭრისი და მჭრელი პირის მიკროგეომეტრია .....	72
3.2. მჭრელი ინსტრუმენტის ცვეთამედეგობის განსაზღვრა .....	74
4. მსუბუქი ტიპის მერქანპოლიმერული კომპოზიტის როტაციული ფრეზვის პროცესის ენერგოძალური პარამეტრების კვლევა მათემატიკური დაგეგმარების მეთოდის გამოყენებით .....	78
5. მსუბუქი ტიპის მერქანპოლიმერული კომპოზიტის ახარატების პროცესის ენერგოძალური პარამეტრების კვლევა მათემატიკური დაგეგმარების მეთოდის გამოყენებით .....	91
6. ეკონომიკური ნაწილი უნივერსალური სახარატო-საფრეზი-საკოპირე ჩარხის გამოყენების ეკონომიკური სარგებლის განსაზღვრა .....	102
ძირითადი დასკვნები და რეკომენდაციები .....	109
გამოყენებული ლიტერატურა .....	111

## ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა .....	80
ცხრილი 2. ცვლადი ფაქტორები და ვარირების ინტერვალები .....	80
ცხრილი 3. ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა ნატურალური სახით ..	81
ცხრილი 4. „ $P_x$ “ ჭრის მდგენელი ძალის გამოთვლის შედეგები .....	82
ცხრილი 5. „ $P_z$ “ ჭრის მდგენელი ძალის გამოთვლის შედეგები .....	82
ცხრილი 6. „ $P_y$ “ ჭრის მდგენელი ძალის გამოთვლის შედეგები .....	83
ცხრილი 7. რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტების დასადგენად „ $P_x$ “ მდგენელი ძალისთვის საანგარიშო ცხრილი .....	84
ცხრილი 8. რეგრესიის განტოლებისთვის კოეფიციენტების დასადგენად „ $P_z$ “ მდგენელი ძალისთვის საანგარიშო ცხრილი .....	84
ცხრილი 9. რეგრესიის განტოლებისთვის კოეფიციენტების დასადგენად „ $P_y$ “ მდგენელი ძალისთვის საანგარიშო ცხრილი .....	85
ცხრილი 10. ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა .....	93
ცხრილი 11. ცვლადი ფაქტორები და ვარირების ინტერვალები .....	93
ცხრილი 12. ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა ნატურალური სახით	94
ცხრილი 13. „ $P_x$ “ ჭრის მდგენელი ძალის გამოთვლის შედეგები .....	95
ცხრილი 14. „ $P_z$ “ ჭრის მდგენელი ძალის გამოთვლის შედეგები .....	95
ცხრილი 15. „ $P_y$ “ ჭრის მდგენელი ძალის გამოთვლის შედეგები .....	96
ცხრილი 16. რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტების დასადგენად „ $P_x$ “ მდგენელი ძალისთვის საანგარიშო ცხრილი .....	96
ცხრილი 17. რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტების დასადგენად „ $P_z$ “ მდგენელი ძალისთვის საანგარიშო ცხრილი .....	97
ცხრილი 18. რეგრესიის განტოლებისთვის კოეფიციენტების დასადგენად „ $P_y$ “ მდგენელი ძალისთვის საანგარიშო ცხრილი .....	97



## ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1. სკამი რთულპროფილიანი მოცულობითი ელემენტებით .....	13
ნახ. 2. სავარძელი რთულპროფილიანი მოცულობითი ელემენტებით .	14
ნახ. 3. მაგიდა კონსოლი პროფილიანი მოცულობითი ელემენტით .....	14
ნახ. 4. მაგიდა კონსოლი რთულპროფილიანი მოცულობითი ელემენტით .....	15
ნახ. 5. სასადილო მაგიდა და სკამები მოცულობითი რთულპროფილიანი ელემენტებით .....	22
ნახ. 6. ხის მერქნისაგან დამზადებული მოცულობითი რთულპროფილიანი ელემენტები .....	24
ნახ. 7. პრიმიტიული ფორმის ტაბურეტები .....	25
ნახ. 8. დასაჯდომი ავეჯი, აფრიკა .....	25
ნახ. 9. სავარძელი ლომის თათის ფორმის ფეხებით .....	26
ნახ. 10. 1 – დასაკეცი სკამი დეკორის ელემენტებით. 1 – დასაჯდომ ზედაპირზე გადაკრულია ტყავი; 2 – სავარძელი დეკორის ელემენტებით .....	28
ნახ. 11. 1 – კლისმოსი, ქალის სკამი საზურგით; 2 – საწოლი სირბილით; 3 – მაგიდა; 4 – მეანდრი .....	30
ნახ. 12. 1 – ტახტი საზურგის გარეშე, 2 – ტაბურეტი ჩარხული ელემენტებით .....	30
ნახ. 13. 1 – ტაბურეტი ხისა და ბრინჯაოს დეტალებით 2 – დასაკეცი ტაბურეტი .....	31
ნახ. 14. 1 – საწოლის კარკასი ჩარხული ელემენტებით, 2 – ჩარხული დეტალი .....	32
ნახ. 15. 1 – სავარძელი, 2 – სავარძელი დამზადებულია მასიური ხის ძელაკებისაგან .....	33
ნახ. 16. დივანი .....	34
ნახ. 17. სამფეხა სავარძელი .....	35
ნახ. 18. 1 – ოწინდალის კარები; 2 – ჯახუნდერის კარები; 3 – ჩუკულის კარები .....	35
ნახ. 19. ამოჭრილი ღარიანი ელემენტების პროფილები .....	37
ნახ. 20. ხეზე კვეთით შესრულებული ქართული ორნამენტის ნიმუშები .....	37
ნახ. 21. სხვადასხვა პროფილის მქონე ბურღის პირები .....	38
ნახ. 22. შალაშინის დანის პროფილები .....	38
ნახ. 23. 1 – ხის მასალისაგან დამზადებული სკამი, 2 – საწოლი ჩარხული საყრდენებით .....	39
ნახ. 24. 1 – სავარძელი ჩარხული ელემენტებით 2 – სკამი ჩარხული ელემენტებით .....	40
ნახ. 25. სკივრის ფასადი .....	41
ნახ. 26. 1 – ორიარუსიანი კარადა დეკორის ელემენტებით, 2 – სკივრი დეკორის ელემენტებით .....	42
ნახ. 27. ინგლისური გოთიკური ავეჯის ნიმუშები .....	42

ნახ. 28. 1 – ორიარუსიანი ჭურჭლის კარადა ჩარხული ელემენტებით, 2 – ჭურჭლის კარადა ჩარხული ელემენტებით .....	43
ნახ. 29. 1 – მაგიდა გამოჩარხული ფეხებით, 2 – მაგიდა გამოჩარხული ფეხებით და ჭრით .....	44
ნახ. 30. 1 – საწერი მაგიდა ჩარხული ელემენტებით, 2 – სავარძელი ჩარხული ელემენტებით .....	45
ნახ. 31. 1 – სავარძელი ღუნვილი ფეხებით, 2 – კონსოლი შესრულე- ბული კვეთილობით .....	46
ნახ. 32.1 – სავარძელი-ნიჟარა, 2 – სავარძელი ჩიპენდელის ნამუშევარი	47
ნახ. 33. 1 – კომოდი ხეზე კვეთით, 2 – დივანი ხეზე კვეთითა და დეკორით .....	47
ნახ. 34. 1 – სავარძელი ოვალური საზურგით, ხეზე ჭრით და ჩარხული ელემენტებით, 2 – სავარძელი ოვალური საზურგით და დეკორის ელემენტებით .....	48
ნახ. 35. დივანი ოვალური საზურგით ხეზე კვეთით და ჩარხული ელემენტებით .....	49
ნახ. 36. 1 – ბანკეტკა ჩარხული საყრდენებით, 2 – ფეხის ჩარხული ფორმა .....	49
ნახ. 37. 1 – ვენური სავარძელი, 2 – ბანკეტკა დეკორატიული ელემენტებით .....	50
ნახ. 38. 1 – ხელის საბანი ღირის ფორმის, 2 – მრგვალი მაგიდა ჩარხული საყრდენით .....	51
ნახ. 39. მრგვალი მაგიდა მოცულობითი ჩარხული ელემენტებით .....	51
ნახ. 40. 1 – კომბინირებული კარადა, 2 – სკივრი მასიური ფორმებით .	52
ნახ. 41. 1 – ოთული კონსტრუქციის მაგიდა, 2 – სავარძელი .....	52
ნახ. 42. 1 – სავარძელი, 2 – მაგიდა სამ ფეხზე .....	53
ნახ. 43. 1 – სკამი, 2 – გრეხილი ავეჯის პირველი ნიმუში, 3 – სავარძელი .....	54
ნახ. 44. 1 – სავარძელი საქანელა, 2 – სკამი მასიური წარმოებისთვის ....	55
ნახ. 45. 1 – სავარძელი, 2 – სკამი, 3 – სავარძელი .....	56
ნახ. 46. 1 – გრეხილი სავარძელი, 2 – სკამი დაწნული დასაჯდომით ავტორი ტონეტი .....	56
ნახ. 47. ჩარხის წინხედი .....	61
ნახ. 48. ჩარხის ზედხედი .....	62
ნახ. 49, ა - მოდერნიზებული კვანძის წინხედი .....	63
ნახ. 49, ბ - მოდერნიზებული კვანძის ზედხედი .....	63
ნახ. 50. კვანძის კონსტრუქცია .....	64
ნახ. 51. ჭრის სქემა .....	64
ნახ. 52. კვანძის საანგარიშო სქემა .....	69
ნახ. 53. ინსტრუმენტის მჭრელი ნაწილის პროფილი: ა – აბსოლუტურად მახვილი (იდეალური) საჭრისი; ბ – გაცვეთილი .....	73
ნახ. 54. საჭრისის დაბლაგვის პარამეტრები .....	74
ნახ. 55. იარაღის ცვეთა მედეგობაზე ექსპერიმენტების ჩასატარებელი ხელსაწყოები .....	76

ნახ. 56. ცვეთამედეგობაზე ჩატარებული ექსპერიმენტების გრაფიკები	77
ნახ. 57. $P_x$ ; $P_z$ და $P_y$ ჭრის ძალის მდგენელების დამოკიდებულება ჭრის სიჩქარეზე $V$ .....	88
ნახ. 58. $P_x$ ; $P_z$ და $P_y$ ჭრის ძალის მდგენელების დამოკიდებულება მიწოდების სიჩქარეზე $U$ .....	89
ნახ. 59. $P_x$ ; $P_z$ და $P_y$ ჭრის ძალის მდგენელების დამოკიდებულება ჭრის სიღრმეზე $t$ .....	90
ნახ. 60. $P_x$ ; $P_z$ და $P_y$ ჭრის ძალის მდგენელების დამოკიდებულება საჭრისის მთავარ კუთხეზე გეგმაში $\varphi$ .....	100
ნახ. 61. $P_x$ ; $P_z$ და $P_y$ ჭრის ძალის მდგენელების დამოკიდებულება საჭრისის წინა კუთხეზე $\gamma$ .....	100
ნახ. 62. $P_x$ ; $P_z$ და $P_y$ ჭრის ძალის მდგენელების დამოკიდებულება მიწოდების სიჩქარეზე $U$ .....	101
ნახ. 63. გარე ცილინდრული ზედაპირების დამუშავების ესკიზი .....	102
ნახ. 64. ა – გრძივი და ბ– დახრილი ღარების ამოფრეზვის ტექნოლოგიური სქემები .....	105
ნახ. 65. დეტალის ზედაპირების ხეხვის ოპერაციის სქემა .....	105
ნახ. 66. გარე ცილინდრული ზედაპირების ერთდროული როტოფრეზირება და ხეხვა .....	107

## შესავალი

საქართველოს ტყეები მიეკუთვნება მრეწველობის განვითარების უმთავრეს პრიორიტეტულ მიმართულებას, ხოლო თვით მერქანი წარმოადგენს ქვეყნის სტრატეგიულ ნედლეულს. ხე-ტყეზე მოთხოვნილება სულ უფრო მატულობს, ამიტომ დღის წესრიგში დგება ტყის რესურსების ეფექტურად გამოყენების საკითხი. ხე-ტყის ნედლეულის მაღალეფექტური, ეკონომიური გამოყენება შესაძლებელია იმ შემთხვევაში თუკი ხის დამამუშავებელ საწარმოებში შემუშავდება ახალი, ორიგინალური რესურსდამზოგი ტექნოლოგიები, დანადგარები და მოწყობილობები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ხე-ტყის დამზადების და მისი საბოლოო გადამამუშავების პროცესების მექანიზაციასა და ავტომატიზაციას. ამასთან ერთად საჭიროა დამუშავდეს სივრცითი დეტალების აგების თეორიული საფუძვლები, მექანიზმების კინემატიკური და დინამიკური გამოკვლევების მეთოდები, მოწყობილობები, ჰიდრო, პნევმოამძრავები და მთელი რიგი მოთვალთვალე მექანიზმები, საკოპირე მექანიზმები, როგორც მექანიკური, ასევე პნევმატიკური და ჰიდრავლიკური, რომელთა დანიშნულებაა რთული, სივრცითი, ფორმათწარმომქმნელი მოძრაობების რეალიზაცია.

აღნიშნული მოწყობილობები საშუალებას იძლევა სხვადასხვა ტიპის ფასონური მოცულობითი ელემენტების შექმნას, რაც ფართოდ გამოიყენება როკოკოს, ბაროკოს, რენესანსის და იუგენსტილის ტიპის ავეჯის წარმოებაში. ამ სახის ავეჯის დამზადება ხელსაყრელია საქართველოსათვის, რადგანაც ის ექვემდებარება ექსპორტს, ძვირფასია, კონკურენტუნარიანია, კომპაქტურია და მის დასამზადებლად გამოიყენება საქართველოში გავრცელებულ მერქნის ძვირფასი ჯიშები.

ეს საკითხი შეიძლება გადაწყდეს საკოპირე და პროგრამული მართვის ჩარხების გამოყენებით.

მერქნისა და მერქნული მასალებისაგან დამზადებული ავეჯი უნდა პასუხობდეს ესთეტიკურ და ფუნქციონალურ მოთხოვნებს. ის უნდა იყოს ორიენტირებული კომფორტზე, ფუნქციურობაზე და ეკოლოგიურად სუფთა

მასალების გამოყენებაზე. ავეჯი უნდა იყოს ინტერიერის ორგანული ნაწილი, ის უნდა ექვემდებარებოდეს ერთიან არქიტექტურულ-მხატვრულ სტილს.

ნაშრომში წარმოდგენილი მაქვს ჩემს მიერ დაპროექტებული თანამედროვე ავეჯის დიზაინის რამოდენიმე ვარიანტი, სადაც სხვადასხვა სტილში გადაწყვეტილი ავეჯის მოცულობითი რთულპროფილიანი ელემენტები ჰარმონიულად არის შერწყმული თანამედროვე ფორმებთან და რომლებიც ქმნიან ერთიან, მთლიან მხატვრულ სახეს. ეს ნიმუშები კიდევ ერთხელ ხაზს უსვამენ და ცხადყოფენ ჩვენი სადისერტაციო ნაშრომის აქტუალობას ავეჯის წარმოებაში.



ნახ. 1. სკამი რთულპროფილიანი მოცულობითი ელემენტებით

ავეჯი გარდა უტილიტარული ფუნქციონალური დანიშნულებისა უნდა ქმნიდეს მაღალმხატვრულ ესთეტიკურ გარემოს. არტ დიზაინი ავეჯში როგორც განსაკუთრებული მხატვრულ-კონცეპტუალური მიმართულება, მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს ახალ ფორმათა წარმოქმნას და მხატვრული

გამომსახველობითი საშუალებებით ფუნქციონალური ობიექტების შექმნას, რომელთაც გააჩნიათ გამორჩეული მხატვრულ კულტურული ღირებულებები.



ნახ. 2. სავარძელი რთულპროფილიანი მოცულობითი ელემენტებით



ნახ. 3. მაგიდა კონსოლი პროფილიანი მოცულობითი ელემენტით

არტ დიზაინი არის პოსტმოდერნისტული კულტურის ნაწილი, რომელიც ხასიათდება სხვადასხვა სტილების შერწყმით და ინდივიდუალური შემოქმედებითი მიდგომებით, სადაც ხაზგასმულია და თავმოყრილია დიზაინერის შემოქმედებითი ფანტაზია.



ნახ. 4. მაგიდა კონსოლი რთულპროფილიანი მოცულობითი ელემენტით

მხატვრულ ექსპერიმენტალური მიეხები განაპირობებენ ავეჯის დიზაინში ფორმათაწარმოქმნის მრავალფეროვნებასა და სტილების ცვალებადობას. მხატვრული ავეჯი ყოველთვის გამოირჩევა ტექნოლოგიური და დეკორატიული ჩანაფიქრის სირთულით. ძალზედ მნიშვნელოვანია ავეჯის დამზადების და მისი მხატვრულად გაფორმების ტექნოლოგიური ოპერაციების, მერქნისა და მერქნული მასალების მერქნულად დამუშავების ახალი საშუალებებისა დაზგა დანადგარების სრულყოფა და დანერგვა ავეჯის წარმოებაში.

**თემის აქტუალობა.** სადისერტაციო ნაშრომში თემის აქტუალობა განისაზღვრება მერქნისაგან და მერქნული კომპოზიციური მასალებისაგან დიდი მოცულობის ავეჯის და მის ელემენტების წარმოებით, რომელიც სტატისტიკური მონაცემებით იზრდება ყოველწლიურად. ამ ზრდასთან დაკავშირებულია ავეჯის ელემენტების დამზადების მწარმოებლურობის ზრდა ახალი ტექნოლოგიების გამოყენებით, აგრეთვე მჭრელი

ინსტრუმენტების და მერქანდამამუშავებელი ჩარხების მოდერნიზაციის გზით.

**სამუშაოს მიზანი.** სამუშაოს მიზანია სახარატო-საფრეზი-საკოპირე ჩარხის მოდერნიზაცია ტექნოლოგიური შესაძლებლობების გაფართოება, დამუშავების ტექნოლოგიური დროის შემცირება და დამუშავებული ზედაპირის სისუფთავის ამაღლება. ზემოაღნიშნული მიზნის მისაღწევად სახარატო-საფრეზი-საკოპირე ჩარხის საკოპირე სუპორტი იყო აღჭურვილი. ორი შპინდელით თავისი ამძრავებით, მათ შორის ერთი აღჭურვილია დისკური ფრეზით, მეორე კი სახეხი ქარგოლით, რომლებიც ზედაპირის ერთდროულ დამუშავებას ასრულებენ.

აგრეთვე ზემოაღნიშნულ პროცესს უწოდეთ როტოფრეზირების პროცესი და მისი ეფექტურობის და წარმობლობის ამაღლება შესაძლებელია მჭრელი ინსტრუმენტის დისკური ფრეზის მჭრელი კბილების ცვეთამდეგობის გაზრდით.

სამუშაოს ერთ-ერთი მიზანი აგრეთვე იყო დისკური ფრეზის მჭრელი კბილების ცვეთამდეგობის კვლევა დაუფარავი და ტიტანის ნიტრიდით (TiN) დაფარული საჭრისების.

### **სამუშაოს სამეცნიერო სიახლე**

მათემატიკურად დაგეგმილი და სტატისტიკურად დამუშავებული ექსპერიმენტალური მონაცემებით გამოყვანილია რეგრესიის განტოლებები, რომლის მეშვეობით შეგვიძლია განვსაზღვროთ დამოკიდებულება ჭრის მდგენელი ძალებისა ჭრის რეჟიმებზე და მჭრელი ინსტრუმენტის გეომეტრიულ პარამეტრებზე. მიღებული რეგრესიის განტოლებების გამოყენებით აგებულია შესაბამისი გრაფიკები და მათი გამოყენებით შესაძლოა გაიცეს როგორც ტექნოლოგიური, ასევე კონსტრუქციული რეკომენდაციები.

### **კვლევის პრაქტიკული ღირებულება**

– წარმოდგენილია ახალი როტოფრეზირების ჭრის პროცესი, რომლის გამოყენება გარეცილინდრული ზედაპირების დამუშავების დროს იძლევა



- დიდ მწარმოებლურობას ავეჯის დეტალების დამზადებისას და ეკონომიკური გაანგარიშების საფუძველზე ძალიან მომგებიანია სერიულ და მსხვილსერიულ წარმოების პირობებში.
- წარმოდგენილია დისკური ფრეზის კბილების ცვეთამდეგობის გაზრდის მეთოდი მჭრელი კბილის ზედაპირების ტიტანის ნიტრიდის (TiN) დაფარვის პროცესის გამოყენებით, რის შედეგად მჭრელი კბილების ცვეთამდეგობა იზრდება 1,4-ჯერ.
  - წარმოდგენილია დეტალების დამუშავება კომპლექსური მეთოდით, კერძოდ ერთდროული როტოფრეზირების და ხეხვის პროცესებით. ასეთი მეთოდის გამოყენება იძლევა დეტალის დამუშავების ტექნოლოგიური დროის შემცირებას და დიდ ეკონომიკურ ეფექტს.

**სამუშაოს აპრობაცია.** სახარატო-საფრეზი-საკოპირე ჩარხის მოდერნიზაციის კვანძი – საკოპირე სუპორტი დავაპატენტე და ყველა კვლევა და ექსპერიმენტები ჩავატარე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მერქნული მასალების დამზადების და დამუშავების სასწავლო-სამეცნიერო ცენტრში.

### **სტრუქტურა და სამუშაოს მოცულობა**

სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს შესავალს, ხუთ თავს, ძირითად დასკვნებს და რეკომენდაციებს, ცხრილების და ნახაზების ნუსხას, გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალს.

დისერტაციის ტექსტი განლაგებულია 112 A4 ფორმატის ფურცელზე, ილუსტრირებულია 18 ცხრილით 66 ნახაზით.

## 1. ლიტერატურის მიმოხილვა

ავეჯი (ფრანგულიდან meuble ლათინურიდან mobilis „მოდრავი (ქონება)“ ეს არის სხვადასხვა ფუნქციური დანიშნულების გადასაადგილებელი ან ჩაშენებული ნაკეთობები, რომლებიც განკუთვნილია: საცხოვრებელი და საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობებისთვის, პარკებისთვის, სკვერებისთვის და ადამიანის ადგილსამყოფელის სხვადასხვა ზონების მოსაწყობად. ავეჯის მრავალფეროვნება გამოიხატება თავის ფორმებში. ის შეიძლება იყოს გადაწყვეტილი სადა დიზაინით და ასევე შემკული მხატვრული ელემენტებით. მხატვრული ავეჯის ძირითადი დამახასიათებელი ნიშნებია: მოცულობითი რთულპროფილიანი ჩარხული დეტალები, ხეზე კვეთით შესრულებული ორნამენტები, ხის მოზაიკის სხვადასხვა სახეობები (მარკეტრი, ინტარსია, ინკრუსტაცია), შესრულების ასეთი ტექნოლოგიები ფართოდ გამოიყენება როკოკოს, ბაროკოს, რენესანსის ტიპის ავეჯის წარმოებაში. ამ სახის ავეჯის დამზადება ხელსაყრელია საქართველოსათვის, რადგანაც ის ექვემდებარება ექსპორტს, ძვირფასია, კონკურენტუნარიანია, კომპაქტურია და მის დასამზადებლად გამოიყენება საქართველოში გავრცელებული მერქნის ძვირფასი ჯიშები. ავეჯი კლასიფიცირდება შემდეგი ძირითადი ნიშნების მიხედვით: სამომხმარებლო დანიშნულების მიხედვით, ფუნქციონალური დანიშნულების მიხედვით, კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიური ნიშნით, გამოყენებული მასალების მიხედვით, წარმოების საშუალებების მიხედვით, ასევე წარმოების ხასიათის მიხედვით. ავეჯის ფუნქციონალური ზომები შესაბამისობაშია ადამიანის ანთროპომეტრიულ მონაცემებთან, ჩატარებული კვლევებისა და გამოთვლების შესაბამისად ყველა ეს ზომა სტანდარტიზირებულია, რის საფუძველზეც შემუშავებულია საერთაშორისო სტანდარტები.

**სამომხმარებლო** დანიშნულების ავეჯს მიეკუთვნება: საყოფაცხოვრებო ავეჯი, საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობებისთვის განკუთვნილი ავეჯი და ავეჯი ტრანსპორტისთვის. საყოფაცხოვრებო ავეჯი – ეს არის

ნაკეთობები, რომლებიც განკუთვნილია სხვადასხვა შენობების (საცხოვრებელი ბინების, აგარაკების) და გარე სივრცის მოსაწყობად. საყოფაცხოვრებო ავეჯი უნდა ხასიათდებოდეს მაღალი ესთეტიური თვისებების მაჩვენებლებით და ექსპლოატაციის მაღალი კომფორტული დონით. საყოფაცხოვრებო ავეჯს განეკუთვნებიან ავეჯის შემდეგი სახეობები: საერთო ოთახისთვის განკუთვნილი ავეჯი – ეს არის შერეული ფუნქციების მქონე ოთახებისთვის განკუთვნილი ავეჯი. მაგალითად, (სამზარეულო – სასადილო გაერთიანებული ოთახისთვის, სასტუმრო – სასადილო გაერთიანებული ოთახისთვის, სამინებელი – კაბინეტის გაერთიანებული ოთახისთვის და სხვა), საძილე ოთახის ავეჯი, სასადილო ოთახის ავეჯი, მისაღები ოთახის ავეჯი, კაბინეტის ავეჯი, საბავშვო ოთახის ავეჯი – (ამ ოთახისთვის განკუთვნილი ავეჯის ფორმა, ზომები და კონსტრუქცია შესაბამისობაშია ბავშვის ასაკობრივ თავისებურებებთან და ზომით მახასიათებლებთან), სამზარეულო ოთახის ავეჯი, შემოსასვლელი ოთახის ავეჯი, საბაზანო ოთახის ავეჯი, სადაჩო ავეჯი და სხვა.

საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობებისთვის განკუთვნილი ავეჯი – ეს არის ნაკეთობები, რომლებიც განკუთვნილია საწარმოებისა და დაწესებულებების სხვადასხვა ფუნქციონალური სივრცეების მოსაწყობად, სადაც გათვალისწინებულია ამ შენობების დანიშნულების ხასიათი და იქ მიმდინარე ფუნქციონალური პროცესების სპეციფიკა. ეს ავეჯი უპირველეს ყოვლისა უნდა იყოს მყარი კონსტრუქციის და მოპირკეთებული გამძლე დამცავი დეკორატიული საფარით. საზოგადოებრივი დანიშნულების ავეჯის სახეობებია: სამედიცინო დანიშნულების ავეჯი (საავადმყოფოებისთვის, პოლიკლინიკების და სხვა სამედიცინო დაწესებულებებისთვის განკუთვნილი ავეჯი), საავადმყოფოებისთვის განკუთვნილი ავეჯის კონსტრუქცია უნდა შეესაბამებოდეს რთულ ფუნქციონალურ-ტექნოლოგიურ პროცესებს, ის მოპირკეთებული უნდა იყოს მაღალი ჰიგიენური მოთხოვნების შესაბამისად. სკოლამდელი დაწესებულებებისთვის განკუთვნილი ავეჯი (ბაგა-ბაღებისთვის), სასწავლო დაწესებულებებისთვის განკუთვნილი ავეჯი (სკოლებისთვის, კოლეჯებისთვის, უმაღლესი სასწავლებლებისთვის), სავაჭრო

საწარმოებისთვის, საზოგადოებრივი კვების ობიექტებისთვის განკუთვნილი ავეჯი (სასადილოები, რესტორნები, კაფე-ბარები და სხვა), საყოფაცხოვრებო მომსახურებისთვის განკუთვნილი ავეჯი (სასტუმროებისთვის, გამაჯანსაღებელი და სპორტული დაწესებულებებისთვის, კინო-თეატრებისთვის, ბიბლიოთეკებისთვის, ადმინისტრაციული შენობებისთვის, მოსაცდელი დარბაზებისთვის, სატრანსპორტო დაწესებულებებისთვის და სხვა). ავეჯი ტრანსპორტისთვის განკუთვნილია სხვადასხვა სატრანსპორტო საშუალებებისთვის: (ავტომობილებისთვის, სარკინიგზო მატარებლებისთვის, საჰაერო ტრანსპორტისთვის, საზღვაო ტრანსპორტისთვის და სხვა).

**ფუნქციონალური** დანიშნულების მიხედვით ავეჯი იყოფა შემდეგ სახეობებად: შესანახი ავეჯი. დასაჯდომი და დასაწოლი ავეჯი, სამუშაო და საკვების მისაღებად განკუთვნილი ავეჯი. შესანახი ავეჯის ძირითადი დანიშნულებაა სხვადასხვა ნივთების შენახვა და განთავსება. გამოყოფენ შესანახი ავეჯის შემდეგ სახეობებს: კარადები (ტანსაცმლის, თეთრეულის, ჭურჭლის, წიგნის), სამზარეულოს კარადა (ეს ნაკეთობა განკუთვნილია სამზარეულოსა და სხვადასხვა საოჯახო ნივთების შესანახად), კარადა მაგიდა სამზარეულოსთვის (ეს ნაკეთობა განკუთვნილია საკვების მოსამზადებლად, ჭურჭლისა და საკვები პროდუქტების შესანახად), სარეცხი და საჭმლის მოსამზადებელი მოწყობილობების განსათავსებლად, კარადა ვიტრინა (ეს არის შუშიანი ნაკეთობა, რომელიც გამოიყენება სხვადასხვა ნივთების სადემონსტრაციოდ), კედლის კარადა, კარადა ტიხარი (ამ ნაკეთობის დანიშნულებაა ბინის ცალკეულ ზონებად დაყოფა). კარადა-ტიხარი წარმოადგენს ოთახებს შორის გამყოფ ზოლს, რომელიც ცვლის ჩვეულებრივ ტიხრებს, მათი გადაადგილება შესაძლებელია სურვილისამებრ. კარადა-კუპე – გამოიყენება ტანსაცმლისა და სხვადასხვა ნივთების შესანახად, შესაძლებელია მათი გადაადგილება სათავსოში ჩვენთვის უფრო მოსახერხებელ ნებისმიერ ადგილზე, კარადა სერვანტი – ჭურჭლის და სასადილო თეთრეულის შესანახი ნაკეთობა, კომოდი არის ნაკეთობა თეთრეულის შესანახი უჯრებით, ტუალეტის მაგიდა – ნაკეთობა სარკით და შესანახი უჯრებით, სეკრეტერი – ნაკეთობა საწერი სამუშაოების

შესასრულებლად, სკივრი – ნაკეთობა გადასაწევი ზედა სახურავით, რომელიც გამოიყენება სხვადასხვა ნივთების შესანახად, თარო – ნაკეთობა ღია წინა კედლის გარეშე, უკანა კედლით ან მის გარეშე, განკუთვნილია წიგნებისა და სხვადასხვა ნივთების განსათავსებლად, დასაჯდომი და დასაწოლი ავეჯი – გამოყოფენ ამ ავეჯის შემდეგ ნაკეთობებს, საწოლი – ლეიბით (ერთადგილიანი ან ორადგილიანი); ეს ნაკეთობა განკუთვნილია ძილისთვის, დივანი – განკუთვნილია რამოდენიმე ადამიანის დასაჯდომად, დივან-საწოლი, რომელიც ტრანსფორმირდება საწოლად, სავარძელი – (სამუშაო სავარძელი, დასასვენებელი სავარძელი, სარწევი სავარძელი) ნაკეთობა საზურგით, სახელურებით (ან სახელურების გარეშე), განკუთვნილია ერთი ადამიანის დასასვენებლად, სავარძელ-საწოლი – ნაკეთობა დასვენებისთვის, რომელიც ტრანსფორმაციის შედეგად შეიძლება გამოყენებული იქნას დასაწოლად, სამუშაო სავარძელი – ნაკეთობა სახელურებით, რომლის დასაჯდომის სიმაღლე უტოლდება სკამის სიმაღლეს, შეზღონგი (მსუბუქი სავარძელი) განკუთვნილია დასვენებისთვის ნახევრად დაწოლილ მდგომარეობაში, რომელიც ტრანსფორმირდება მოხმარების დროს, ტახტი – საზურგით ან მის გარეშე, ასრულებს საწოლის ფუნქციას, სკამი – (სასადილო სკამი, სამუშაო და საწერი სკამი), ნაკეთობა საზურგით, სახელურებით ან მათ გარეშე, განკუთვნილია ერთი ადამიანის დასაჯდომად, ტაბურეტი – ნაკეთობა საზურგისა და სახელურების გარეშე, მაგარი დასაჯდომით, განკუთვნილია ერთი ადამიანის დასაჯდომად, ბანკეტკა – ნაკეთობა საზურგის გარეშე, განკუთვნილია ერთი ან რამოდენიმე ადამიანის დასაჯდომად, მაგარი ავეჯი – (გადაუკრავი და გადაკრული 10 მმ სისქის საფენით), რბილი ავეჯი – გადაკრული რბილი ელემენტებით. სამუშაო და საკვების მიღებისთვის განკუთვნილი ავეჯი – ასეთ ავეჯს განეკუთვნებიან შემდეგი ნაკეთობები: მაგიდა – ეს არის ნაკეთობა ჰორიზონტალური ზედაპირით და საყრდენებით, განკუთვნილია სამუშაოს შესასრულებლად და საკვების მისაღებად, სასადილო მაგიდა, რომელიც განკუთვნილია საკვების მისაღებად, საწერი მაგიდა-ნაკეთობა, რომელიც განკუთვნილია სამეცადინეოდ და საწერი სამუშაოების შესასრულებლად,

საჟურნალე მაგიდა – დაბალი მაგიდა, რომელიც განკუთვნილია დასასვენებელი ზონის ფორმირებისთვის.

**კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიური** ნიშნის მიხედვით გამოყოფენ შემდეგი სახეობის ავეჯის ნაკეთობებს: ჩაშენებული ავეჯი – (სტაციონარი) გადასადგილებელი ავეჯი – (შეიძლება იყოს დასაშლელი და მთლიანი) დასაშლელი ავეჯი ბევრად უფრო მოსახერხებელია ოთახის შიგნით გადასადგილებლად, ასევე შესაფუთად და ტრანსპორტირებისთვის, ტრანსფორმირებადი ავეჯი (დივან-საწოლი, სავარძელ-საწოლი, კარადა-სეკრეტერი, კარადა-სერვანტი და სხვა), ასეთი ავეჯი გვამლევს საშუალებას უფრო ეკონომიურად გამოვიყენოთ საცხოვრებელი ფართი და შევიქმნათ მეტი კომფორტი, უნივერსალური-ასაწყობი ავეჯი, კორპუსული ავეჯი, დასაშლელი ავეჯი, დაუშლელი – მთლიანი აწყობილი ავეჯი, დასაკეცი ავეჯი, სექციური ავეჯი, სტელაჟური და კომბინირებული ავეჯი.



ნახ. 5. სასადილო მაგიდა და სკამები მოცულობითი რთულპროფილიანი ელემენტებით

გამოყენებული მასალების მიხედვით გამოყოფენ შემდეგი სახის ავეჯს: მერქნისაგან და მერქნული მასალებისაგან დამზადებული ავეჯი – (სადურგლო, გრებილი, დაწნული, დაწნეხილი), მერქანბურბუმელასა და მერქანბოჭკოვანი

ფილებისაგან აწყობილი ავეჯი, პოლიმერული მასალებისაგან დამზადებული ავეჯი – (ფორმიანი, შეწებილი, ჩამოსხმული, დაწნეხილი), ლითონისაგან დამზადებული ავეჯი – (ლითონის კარკასით, დამტამპული, შედუღებული, ჩამოსხმული), კომბინირებული მასალებისაგან დამზადებული ავეჯი – (სხვადასხვა მასალებისაგან ერთობლიობაში).

**წარმოების საშუალებების** მიხედვით გამოყოფენ შემდეგი სახის ავეჯის ნაკეთობებს: გრებილი ავეჯი, დაწნული ავეჯი, დაწნეხილი ავეჯი, დამტამპული ავეჯი, ჩამოსხმული ავეჯი – (ლითონისაგან ან პლასტმასისაგან).

**წარმოების ხასიათის** მიხედვით გამოყოფენ შემდეგი სახის ავეჯის ნაკეთობებს: ექსპერიმენტალური ავეჯი წარმოადგენს ნაკეთობების ერთჯერად ნიმუშებს ფუნქციონალური მოთხოვნების შესაფასებლად და გამოსაცდელად, სერიული წარმოების ავეჯი გამოდის პარტიებად და რომლის ხელმეორედ გამოშვებას წინასწარ არის განსაზღვრული, მასიური წარმოების ავეჯი გამოდის დიდი რაოდენობით, შეუწყვეტილ ხანგრძლივი დროის განმავლობაში ფორმებისა და კონსტრუქციების შეუცვლელად. ავეჯის საწარმოო პროცესი წარმოადგენელია ერგონომიული ნორმების გათვალისწინების გარეშე. ერგონომიკა – (ergon და nomos – მუშაობა და კანონი), რომელიც კომპლექსურად შეისწავლის ადამიანის ფუნქციურ შესაძლებლობებს ტექნიკურ საშუალებათა გამოყენებასთან დაკავშირებულ საქმიანობაში სამუშაო იარაღების, შრომის პირობებისა და პროცესების ოპტიმიზაციის მიზნით. მისი მიზანია უზრუნველყოს მაქსიმალური პროდუქტიულობა და მინიმალური ზარალი. ავეჯის შესაფასებლად ერთ-ერთ მთავარ მოთხოვნას წარმოადგენს შესრულების ხარისხი, ესთეტიკური სახე, ფორმისა და კონსტრუქციის მთლიანობა, გამოყენებული მასალების ხარისხი და ეკოლოგიურობა, ნაკეთობის კონსტრუქციული გადაწყვეტის სიმარტივე, სიმტკიცე და გამძლეობა, კვანძური შეერთებების სწორი გადაწყვეტა. ნაკეთობის დამზადების სიზუსტე და სისუფთავე, მისი თავისუფლად დაშლისა და აწყობის შესაძლებლობა, დეტალების უნიფიცირება, მოპირკეთების ხარისხი და საბოლოო სახის მიცემა. ნაკეთობის

შესაბამისობა ადამიანის სხეულის ზომასა და ფორმაზე, მის მასაზე, მის ანთროპომეტრიულ მახასიათებლებზე, ფიზიოლოგიურ, ფსიქოლოგიურ და ჰიგიენურ მოთხოვნებზე.



ნახ. 6. ხის მერქნისაგან დამზადებული მოცულობითი რთულპროფილიანი ელემენტები.

მასიური ხის მერქნისაგან დამზადებული მოცულობითი რთულპროფილიანი ელემენტები, რომლებიც შეიძლება გამოვიყენოთ კიბის რიკულებისთვის, მაგიდის საყრდენებად და სხვადასხვა ფუნქციონალურ დეკორატიული დანიშნულებით.

ავეჯის შექმნისა და ჩამოყალიბების პერიოდი ჩვენ შეგვიძლია დავყოთ რამოდენიმე ეტაპად. ავეჯის განვითარება იწყება პრიმიტიული ფორმებიდან დღემდე მაღალ ტექნოლოგიური ულტრათანამედროვე ფორმების სრულყოფამდე. ყოველი ეპოქა ფორმებისა და კონსტრუქციების მიებაში წარმოშობს ახალ მიმართულებებს და სტილისტურ გადაწყვეტებს. სამწუხაროდ უძველესი პერიოდისა და შუა საუკუნეების ავეჯის ნიმუშები დღემდე თითქმის არ შემონახულა, ის რაც მუზეუმებშია განთავსებული არის მხოლოდ საავეჯო ხელოვნების ნაწილი, რომელიც ჟამთა სვლას გადაურჩა. მას შემდეგ, რაც პირველყოფილმა ადამიანმა გადაინაცვლა გამოქვაბულში, ის გახდა მისი საცხოვრებელი ადგილი. ამ პერიოდისთვის ადამიანს შეეძლო პრიმიტიული შრომის იარაღების დამზადება ქვისაგან და

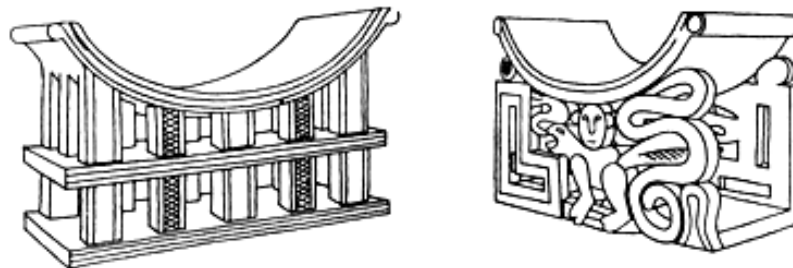


მისი გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში. გამოქვაბულის დატოვების შემდეგ ადამიანმა დაიწყო ხის მასალისაგან საცხოვრებელი ადგილის მოწყობა. ლითონის გამოყენებამ პრიმიტიული ხელოსნობა მთლიანად გარდაქმნა და შეცვალა. ხის დასამუშავებლად იყენებდნენ შემდეგი სახის ლითონისაგან დამზადებულ ხელსაწყოებს (სატეხებს, საბურღი ხელსაწყო, ჩაქუჩი, ცული, დანა და სხვა). მოგვიანებით ლითონის წრთობის პროცესის დანერგვამ ხელი შეუწყო ხელოსნებს შეექმნათ ბევრად უფრო გამძლე და მჭრელი სხვადასხვა დანიშნულების ხელსაწყოები. ძველ პერიოდში ადამიანმა ისწავლა ბუნებრივი მასალების გამოყენება, როგორც ავეჯი, მაგალითად, ხის კუნძი, ტოტებისაგან დამზადებული ავეჯი, დაწნული ავეჯი და სხვა. პრიმიტიული ავეჯის ეს ფორმები. როგორცაა კუნძი, ტაბურეტი, დაწნული ელემენტები შემორჩენილია და გამოიყენება დღემდე.



ნახ. 7. პრიმიტიული ფორმის ტაბურეტები

ხის დამუშავების ტექნოლოგიის განვითარებასთან ერთად პარალელურად ვითარდებოდა ნაკეთობის მხატვრულად გაფორმება, ძირითადად ხდებოდა ავეჯის ხეზე კვეთილობით შემკობა.



ნახ. 8. დასაჯდომი ავეჯი აფრიკა

სურათზე ნაჩვენებია ავეჯი დამზადებულია მასიური ხისაგან. დასაჯდომი ზედაპირი არის ჩალრმავებული ფორმის, გამოირჩევა განსაკუთრებული დეკორატიულობით და სილამაზით. ხის ელემენტები ერთმანეთთან დაკავშირებულია კოტური შეერთებით.

ეგვიპტელები ხელოვნებას ანიჭებდნენ ძალიან დიდ მნიშვნელობას. ისინი მიცვალებულებს სამარხებსა და აკლდამებში ატანდნენ პვირფას ნივთებს და ნაკეთობებს. დასაფლავების ამ წესმა და ეგვიპტის მშრალმა კლიმატმა განაპირობა კულტურის ამ უნიკალურ ნიმუშებს ჩვენამდე მოეღწია დაცულად და უვნებლად. 1922 წელს ტუტანხამონის აკლდამის გახსნისას აღმოჩენილი იყო სრულიად უზიანოდ შენახული ავეჯის ნაკეთობები.



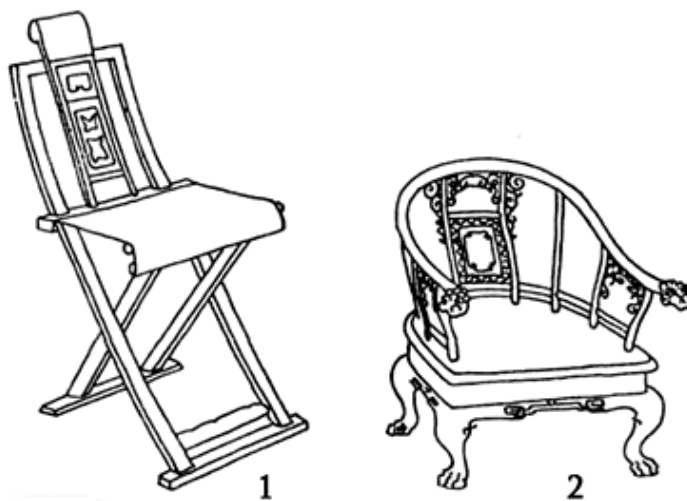
ნახ. 9. სავარძელი ლომის თათის ფორმის ფეხებით

ეგვიპტეში ავეჯის ისტორიაში პირველად შეიქმნა სკამი საზურგით. ისინი ნაკეთობის დამზადებამდე წინასწარ ასრულებდნენ ნახაზებს სხვადასხვა ფორმის სახაზავისა და ფარგლის გამოყენებით. თავდაპირველად სადურგლო საქმით დაკავებულები იყვნენ მონები და თავისუფალი ხელოსნები, შემდგომში ამ საქმიანობას ავალებდნენ უფრო გამოცდილ სპეციალისტ ოსტატებს. ამ პერიოდისთვის ავეჯის დეტალების დამუშავების დაბალი ხარისხი გამოწვეული იყო ტექნიკური მოწყობილობების არ ქონის გამო. კერძოდ მათ არ ჰქონდათ შალაშინი, სალესი და სახარატო მოწყობილობები. მერქნის ზედაპირს ხშირ შემთხვევაში ამუშავებდნენ პეშებით. იმისათვის, რომ დაეფარად ნაკეთობის ხარვეზები ავეჯის ზედაპირს ფარავდნენ სქელი ფენა საღებავთან ერთად შეზავებული საგოზავით. ზედაპირის საბოლოო დამუშავების შემდეგ ახორციელებდნენ ღებვას

თეთრი ან ფერადი მკვეთრი ფერის საღებავებით, კერძოდ: წითელი, ყვითელი, შავი, ყავისფერი, მწვანე და ცისფერი ფერებით. მოხატვის დროს საღებავებს ერთმანეთში არ ურევდნენ იყენებდნენ სუფთა სახით. მოხატვის დასრულების შემდეგ ნაკეთობა მთლიანად იფარებოდა დამცავი ლაქით. ეგვიპტელები ნაკეთობების დასამზადებლად იყენებდნენ შემოტანილ ხის მასალას, რადგანაც ადგილობრივი მასალა იყო უხარისხო და რთულად დასამუშავებელი. ავეჯის მოსართავად ასევე იყენებდნენ ხეში გამოჭრილ გეომეტრიულ და სიბრტყობრივ ორნამენტებს. ეგვიპტელები უძველესი დროიდანვე ფლობდნენ დაფანერების პრიმიტიულ ხერხებს, რომლის საშუალებითაც ისინი ხშირ შემთხვევაში იაფფასიან ხის მასალას აკრავდნენ ძვირფასი ხის ფირფიტებს (შპონს). გეოგრაფიულად შპონის წარმოშობის ისტორია სათავეს იღებს ძველ ეგვიპტეში, სადაც ხის მასალის დეფიციტმა განაპირობა და აუცილებელი გახადა მისი რაციონალური მოხმარება. შპონის დამზადების უძველესი მეთოდი იყო განივი ხერხის საშუალებით მერქნის დახერხვა თხელ ფირფიტებად. დახერხვის ამ ტექნოლოგიური პროცესის სირთულის მიუხედავად ძველ საუკუნეებში ეს ხელობა იყო ძალზედ პოპულარული და დაფასებული. ნაკეთობის ელემენტები შემკული იყო ასევე ხის მოზაიკით (ინკრუსტიციით), სადაც ძვირფასი ხის გარდა მოზაიკის ასაწყობად იყენებდნენ: მალაქიტს, სპილოს ძვალს, პერლამუტრს, ბრინჯაოს და ოქროს ფირფიტებს. ეგვიპტელი ხელოსნები სკამის დასაჯდომის ზედაპირს ამზადებდნენ წნულებით, სადაც იყენებდნენ მცენარეულ და ტყავის ელემენტებს. ავეჯის ფეხები გამოსახავდნენ მგლის ან ლომის თათის ფორმას. ეგვიპტურმა ხელოვნებამ დიდი ზეგავლენა იქონია ევროპაში ამპირის სტილის ჩამოყალიბებაზე, განსაკუთრებით ეს აისახა ამ სტილის ფრანგულ ავეჯში.

**ჩინური ავეჯის** სტილმა დიდი ზეგავლენა იქონია XVIII საუკუნის ინგლისურ საავეჯო ხელოვნებაზე. კერძოდ ცნობილი ინგლისელი ოსტატის თომას ჩიპენდელის შემოქმედებაზე. უფრო ადრე XVII საუკუნეში ჰოლანდიაში და ინგლისში მოდაში შემოვიდა ჩინური ტექნოლოგიით ლაქით დაფარვის ტექნიკით შესრულებული ავეჯი. ეს ავეჯი იყო ძალიან

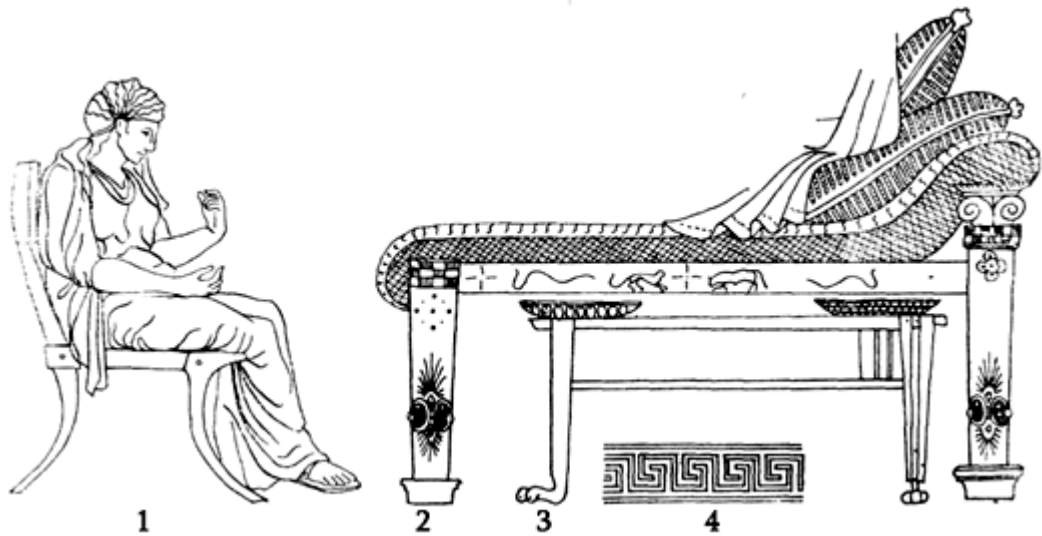
მოთხოვნადი და ძვირადღირებული. ჩინური ავეჯი გამოირჩეოდა თავისი ეგზოტიკურობით აქ უნივერსალურ მასალად ითვლებოდა ბამბუკი, რომლითაც ჩინელები ამზადებდნენ სხვადასვა კონსტრუქციებს, შენობის ტიხრებს, ავეჯს, წნულებიან ნაკეთობებს, და სხვა. ჩინური ავეჯის ფორმები ნაკარნახევი იყო ცხოვრების მკაცრი ნორმებით. სამაგალითო იყო ჩინელი ხუროების საქმიანობა, რომლებიც აშენებდნენ დახვეწილი და ორიგინალური ფორმის ხის სახლებს. ჩინურ ავეჯში განსაკუთრებით გამოირჩეოდა ლაქით დაფარვის ტექნიკით შესრულებული ავეჯი, ეს ტექნიკა შეიცავდა რთულ ტექნოლოგიურ პროცესებს: ნაკეთობას ფარავდნენ ლაქით მრავალ შრეებად, რომელსაც შემდეგ პოლირებას უკეთებდნენ. გალაქულ ნაკეთობის ზედაპირზე წვრილი საჭრელებით ახორციელებდნენ გრავირებას, რომელსაც შემდგომში ღებავდნენ ოქროსფერი საღებავით. ავეჯის მოპირკეთებას აწარმოებდნენ, ასევე ინტარსიის ტექნიკითაც, რომელიც ევროპულისგან განსხვავდებოდა იმით რომ ხის ფირფიტების ჩანართები ოდნავ ამოწეული იყო ნაკეთობის ზედაპირიდან. ინკრუსტაციის ტექნიკით მოპირკეთებისას ფერადი ხის ფირფიტების გარდა იყენებდნენ: სპილოს ძვალს, ნიჟარას, კუს ჯავშანს, რქას, პერლამუტრს, ძვირფას ქვებს და ლითონებს. ავეჯის ნაკეთობებს ძირითადად ამზადებდნენ მაგარი ჯიშის შავი და ვარდისფერი ხის მერქნისაგან.



ნახ. 10. 1 – დასაკეცი სკამი დეკორის ელემენტებით. დასაჯდომ ზედაპირზე გადაკრულია ტყავი; 2 – სავარძელი დეკორის ელემენტებით, მოღუნული ფეხებით, დასაჯდომი და საზურგე არის რკალისებური ფორმის.

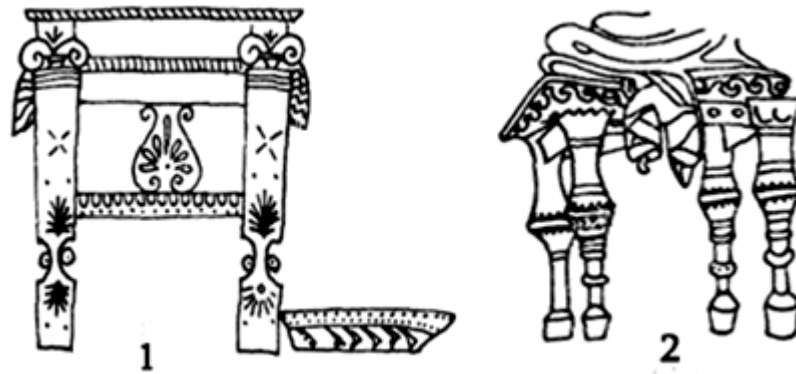
ორიგინალური ბერძნული ავეჯის ნიმუშები დღემდე არ შემონახულა ამ ავეჯის ფორმებზე წარმოდგენას გვიქმნის კერამიკულ ვაზებზე გამოსახული ნახატები და რელიეფები. მეწარმეობის განვითარებამ საბერძნეთში ხელი შეუწყო დამოუკიდებელი პროფესიების ჩამოყალიბებას, რომელთა შორის გამოირჩეოდნენ: დურგლები, ხუროები, ავეჯის დამზადების ოსტატები. დურგლები ხის დასამუშავებლად იყენებდნენ შალაშინს, სახარატო დანადგარს. შალაშინის გამოგონებამ ხელი შეუწყო სადურგლო საქმისა და ხის დამუშავების კიდევ უფრო სრულყოფას. ავეჯის წარმოების ტექნოლოგია მნიშვნელოვნად განვითარდა, საფუძველი ჩაეყარა სხვადასხვა ტექნოლოგიურ ოპერაციებს, ორთქლის საშუალებით ხორციელდებოდა მერქნის ღუნვა და სასურველი ფორმის მიღება, ასევე შემუშავებული იქნა შპონის დამზადების ტექნოლოგია, ოსტატები ფლობდნენ ავეჯის დეტალების შეერთების სხვადასხვა მეთოდებს. ბერძნულ ავეჯს ქონდა მკვეთრად გამოხატული კონსტრუქცია, რომელიც სრულად პასუხობდა მასალის თვისებებს. ავეჯის ფორმები კი მოწმობდნენ მაღალ მხატვრულ დონეზე. ბერძნები ავეჯის დასამზადებლად ხშირ შემთხვევაში იყენებდნენ სხვადასხვა ჯიშის ხის მერქანს: ნეკერჩხალი, ბზა, ზეთისხილის ხე, კედარი, პალმის ხე, კაკალი და შავი ხე. ასევე იყენებდნენ მარმარილოსა და ბრინჯაოსაგან დამზადებულ ავეჯის ელემენტებს. ბერძნულ სახლში ავეჯის სახეობების რაოდენობა იყო უმნიშვნელო. ადგილობრივი კლიმატი, უბრალო საცხოვრებელი, ტანსაცმელი და წეს-ჩვეულებები არ მოითხოვდა სხვადასხვა ფუნქციური დანიშნულების ავეჯის საჭიროებას. კარადებს თითქმის არ მოიხმარდნენ, ტანსაცმლისა და სხვა ნივთების შესანახად იყენებდნენ ხისაგან დამზადებულ სკივრებს. მოგვიანებით ბერძნებს ჩამოუყალიბდათ ჩვევა საკვებს იღებდნენ დაწოლილ მდგომარეობაში, ამ მიზნებისთვის განკუთვნილი იყო სხვადასხვა ფორმის საწოლები.

დასაჯდომი ავეჯი იყო მრავალფეროვანი: სკამი ჩვეულებრივი და ცერემონიებისთვის განკუთვნილი დაწნული ზედაპირით. გამორჩეული იყო დასაკეცი ტაბურეტი X ფორმის საყრდენებით. ასეთ ტაბურეტს მონა ატარებდა ბატონისთვის, რომ მას ნებისმიერ დროს შეძლებოდა ჩამოჯდომა.



ნახ. 11. 1 – კლისმოსი, ქალის სკამი საზურგით; 2 – საწოლი სირბილით; 3 – მაგიდა; 4 – მუანდრი, სახასიათო ძველბერძნული ორნამენტი

საზეიმო სკამი საზურგით კლისმოსი, ეს არის პირველი ფორმა ავეჯის განვითარების ისტორიაში, სადაც ფუნქციონალური საწყისი შერწყმულია მხატვრულ გაფორმებასთან. კლისმოსის მოხდენილი ხაზი, როგორც ტექნიკურ ასევე მხატვრულ მიმართებაში ითვლება ბერძნული საავეჯო ხელოვნების აპოგეად.



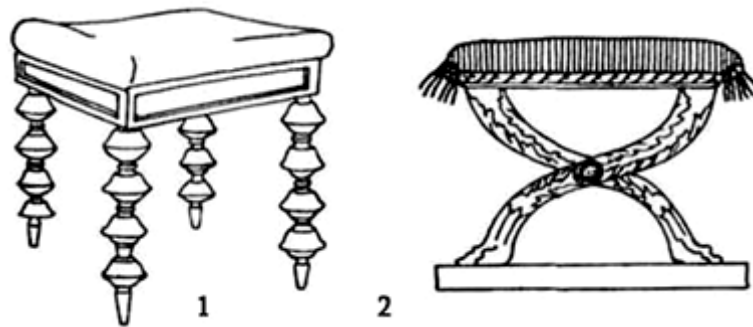
ნახ. 12. 1 – ტახტი საზურგის გარეშე, 2 – ტაბურეტი ჩარხული ელემენტებით

ბერძნული ავეჯი იყო ფერადოვანი. ავეჯს ამკობდნენ ინკუსტრირებული ორნამენტებით და ინტარსიით, რომელიც მზადდებოდა: ვერცხლისაგან, სპილოს ძვლისაგან, კუს ჯავშანისაგან. ბერძნული ორნამენტისთვის დამახასიათებელი იყო ფიგურული, მცენარეული, გეომეტრიული და არქიტექტურული ელემენტების გამოსახვა. გეომეტრიული ორნამენტი იყო

სპირალური და ტალღისებური ხაზების ფორმის. ბერძნულმა ხელოვნებამ დიდი ზეგავლენა იქონია ძველ რომაულ ხელოვნებაზე.

**ძველ რომში** საცხოვრებელი სახლის შიგა სივრცე იყო ძალიან მდიდრულად გაფორმებული. იატაკს აწყობდნენ მარმარილოთი ან ფერადი მოზაიკით, ჭერს აგებდნენ ხის კონსტრუქციებით, კედლებს ხატავდნენ მკვეთრი დეკორატიული ნახატით, რომელიც ხელოვნების ისტორიაში ცნობილია, როგორც პომპეის ფრესკები.

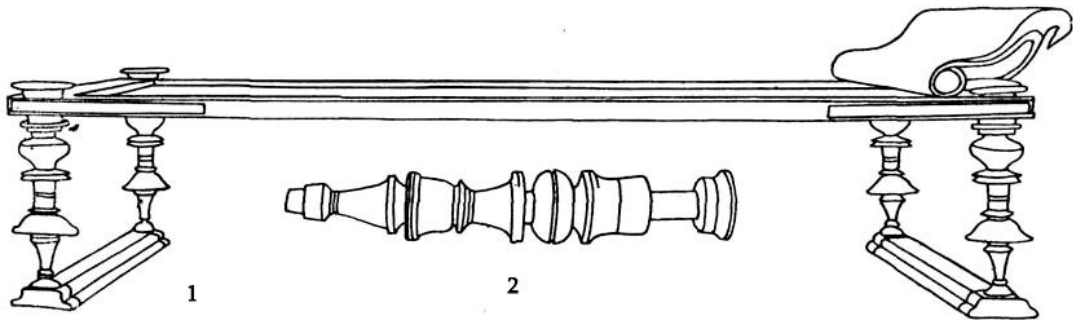
მდიდრულად გაფორმებული სათავსოს შესატყვისი იყო მასში განლაგებული ავეჯიც. რომში ამ პერიოდისთვის სადურგლო ტექნიკა მნიშვნელოვნად განვითარდა. დურგლებს გააჩნდათ დღემდე არსებული თითქმის ყველა ხელის ხელსაწყო, რომელსაც მოიხმარდნენ ხის დასამუშავებლად. სამწუხაროდ რომაული ხის ავეჯი მთლიანად განადგურდა. ჩვენამდე მოაღწია მხოლოდ მარმარილოსა და ბრინჯაოსაგან დამზადებულმა ნიმუშებმა. ბერძნულისაგან განსხვავებით რომაულ ავეჯში სიახლეს წარმოადგენდა ხეზე ჭრით და ლითონისაგან შესრულებული პლასტიკური მორთულობები.



ნახ. 13. 1 – ტაბურეტი ხისა და ბრინჯაოს დეტალებით  
2 – დასაკეცი ტაბურეტი

ძველ რომში ავეჯის დასამზადებლად იყენებდნენ სხვადასხვა ჯიშის ხის მასალას: კედარს, ზეთისხილის ხეს, იფანს, ნეკერჩხალს, ინტარსიას აწყობდნენ ბზის, პალმის ხისა და შავი ხის ფირფიტებით. ავეჯის დეტალების დასამუშავებლად ოსტატები იყენებდნენ შალაშინს და სახარატო დანადგარს. სახარატო დანადგარით ხორციელდებოდა სხვადასხვა ფასონური მოცულობითი ფორმების გამყვანა. ავეჯი ხშირ შემთხვევაში

მორთული იყო მცენარეული ორნამენტებით. ნაკეთობის საზურგე და ფეხები შემკული იყო ცხოველის, ფრინველის და ფრთოსანი მტაცებლების გამოსახულებებით. ხის მასალასთან ერთად ავეჯის შესამკობად მოიხმარდნენ: ბრინჯაოს, მარმარილოს, ოქროს, ვერცხლს, სპილოს ძვალს, რქას და კუს ჯავშანს.



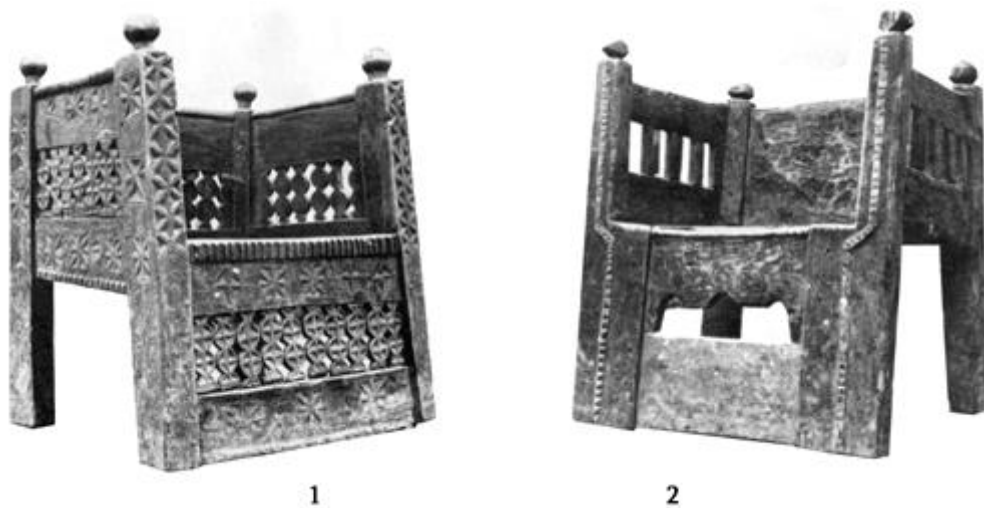
ნახ. 14. 1 – საწოლის კარკასი ჩარხული ელემენტებით,  
2 – ჩარხული დეტალი

დეკორატიული მორთულობები შესრულებული იყო: ხეზე ჭრით, გრავირებით, მოხატვით, მოოქროვებით, დაფანერებით, ინკრუსტაციით. დურგლებთან ერთად შიდა სივრცის გაფორმებას ახორციელებდნენ ბრინჯაოს ჩამომსხმელები, ხარატები, გრავირების სპეციალისტები, ჭედურობის ოსტატები, ხეზე ჭრის ოსტატები. ავეჯის ჩამონათვალში შედიოდა: სკამი, ტაბურეტი, დასაკეცი ტაბურეტი, საზეიმო სკამი, საიმპერატორო სავარძელი, საწოლი რბილი ელემენტებით, მაგიდები და სხვა. რომაული ხელოვნებით მთავრდება ანტიკური ხელოვნების ისტორია. რომაულმა ხელოვნებამ დიდი ზეგავლენა იქონია კლსიციზმის ეპოქაზე.

საქართველოში ხის მხატვრულ დამუშავებას ხანგრძლივი ისტორია და ტრადიციები გააჩნია. ხეზე ჭრა ხალხური ხელოვნების ერთ ერთ ყველაზე უფრო განვითარებულ დარგად ითვლებოდა. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია X–XI საუკუნეების ხეზე ჭრით შესრულებული საცხოვრებელი სახლის ინტერიერები: სვანური სახლის მაჩვიბი, ქართლური და მესხური დარბაზი, იმერულ-გურულ-მეგრული ოდეები. ხალხური ავეჯის ნიმუშები: სავარძელი, ტახტი, სკამი, ლოგინი, სკივრები და სხვა. ამ ნაკეთობებზე ძირითადად გამოსახული იყო გეომეტრიული ორნამენტები, ასტრალური



სიმბოლოები, სტილიზებული ანტროფომორფული და ზოომორფული მოტივები. ხეზე ჭრით შესრულებულ ნიმუშებს შორის მეტად მნიშვნელოვანია დიდი ოსტატობითა და მაღალმხატვრულ დონეზე შესრულებული: ოწინდალის, ჯახუნდერის და ჩუკულის საეკლესიო კარები. საქართველოში უძველესი დროიდან ხეს იყენებდნენ, როგორც სამშენებლო მასალას. ხისაგან ამზადებდნენ საოჯახო ნივთებსა და სხვადასხვა ფუნქციური დანიშნულების ნაკეთობებს. ამის მაგალითია არქეოლოგიური გათხრების შედეგად სამგორის ყორღანში (სამარხში) ნაპოვნი ძელურა, რომელიც თარიღდება ჩვენს ერამდე მე-2 ათასწლეულის დასაწყისით და მე-3 ათასწლეულის ბოლო პერიოდით. ამავე პერიოდით თარიღდება, ასევე ოთხთვლიანი ურემი, რომელიც ნაპოვნია თრიალეთის სამარხებში. 1940 იან წლებში აკადე. ივანე ჯავახიშვილისა და აკად. სიმონ ჯანაშიას ხელმძღვანელობით მცხეთაში (არმაზისხევი, ბაგინეთი) ჩატარებულ არქეოლოგიურ გათხრებში ნაპოვნი იქნა ხეზე კვეთილობით მხატვრულად შესრულებული სხვადასხვა საგნები რომლებიც თარიღდებიან ჩვენი წელთაღრიცხვის პირველი საუკუნეებით.



ნახ. 15. 1, 2 – სავარძლები დამზადებულია მასიური ხის ძელაკებისაგან

1 – სავარძელი, მასიური ხის ძელაკებისაგან. ნაკეთობა კონსტრუქციულად არის მყარი და მოსახერხებელი. საყრდენები და ცარგები ერთმანეთთან დაკავშირებულია კოტური შეერთებებით. საზურგისა და

გვერდით ცარგებს შორის მონაკვეთი შემკულია გამჭოლი გეომეტრიული ჭრით. ფასადის ქვედა ნაწილის ცარგებს შორის მონაკვეთი ასევე შემკულია გამჭოლი გეომეტრიული ჭრით. ოთხივე საყრდენი და მათი დამაკავშირებელი ცარგების ორნამენტები ამოჭრილია ღრმა გეომეტრიული კვეთით. 2 – სავარძელი დამზადებულია მასიური ხის ძელაკებისაგან. ნაკეთობის დეტალები კონსტრუქციულად ერთმანეთთან დაკავშირებულია კოტური შეერთებებით. მკლავსაყრდენებსა და ცარგებს შორის მონაკვეთში ჩასმულია ხის პატარა ძელაკები, რომლებიც მხატვრულად შერწყმული არიან კონსტრუქციის სხვა ელემენტებთან. ფასადის ნაწილი შემკულია კვადრატული ფორმის ხის ფირფიტებით, რომელიც გამოსახულია ხაზობრივად და ქმნის სრულყოფილ დეკორატიულ სახეს.

დივანი დამზადებულია მასიური ხის ძელაკებისაგან. სიგრძივი ცარგები საყრდენებთან დაკავშირებულია კოტური შეერთებებით. საყრდენი ფეხების ორნამენტები ამოჭრილია ღრმა გეომეტრიული კვეთით. საზურგე, გვერდები და ფასადი შემკულია გამჭოლი ორნამენტებით.



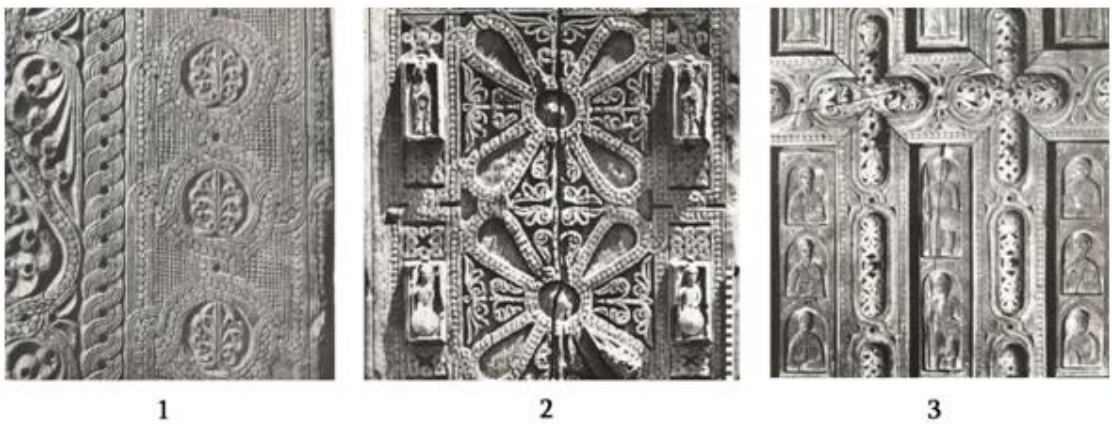
ნახ. 16. დივანი

სამფეხა სავარძელი დამზადებულია მასიური ხის ძელაკებისაგან. რკალისებური ფორმის საზურგე მოპირკეთებულია ღრმა გეომეტრიული ჭრით. საყრდენი ფეხები მყარად არის ჩასმული და მიმაგრებული დასაჯდომ სიბრტყეზე.

აღსანიშნავია მხატვრული ღირებულებებით გამორჩეული ოწინდალის, ჯახუნდერის და ჩუკულის კარები, სადაც გამოყენებულია მხატვრული ჭრის თითქმის ყველა სახეობა: კონტურული, რელიეფური, მაღალრელიეფური, აჟურული და სხვა.



ნახ. 17. სამფეხა სავარძელი



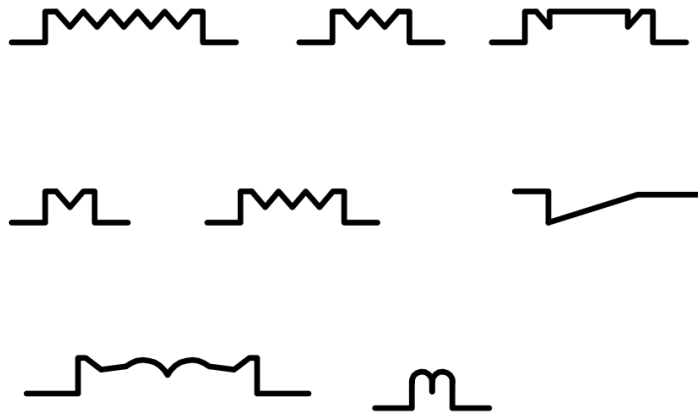
ნახ. 18. ოწინდალის კარები, ჯახუნდერის კარები, ჩუკულის კარები

1 – ოწინდალის კარები დამზადებულია კაკლის ხის მასიური ფიცრებისაგან, რომელიც მოპირკეთებულია ხეზე კვეთილობით, როგორც დეკორატიული პანო.

შემორჩენილია ოწინდალის კარების მარცხენა მხარის ფრაგმენტი. კარებზე ამოჭრილია ლენტური წნულები და მათ შორის განლაგებული სტილიზირებული ფოთლები. მეტად გამომსახველია ფართე ორნამენტული ზოლი ღრმა რელიეფური ჭრით ასევე დაბალი კონტურული შტრიხებით შესრულებული გეომეტრიული ფონი. ხვეული ლენტა წარმოადგენს კარების დეკორის პლასტიკურ ელემენტს და დამუშავებულია ნაკლებად ღრმა ხუთი ღარით. რგოლების ცენტრები მნიშვნელოვნად არის ჩაღრმავებული და იძლევა ღრმა კონტრასტულ ჩრდილს. კარებზე ასევე ამოჭრილია ორღარიანი და სამღარიანი პლასტიკური ელემენტები.

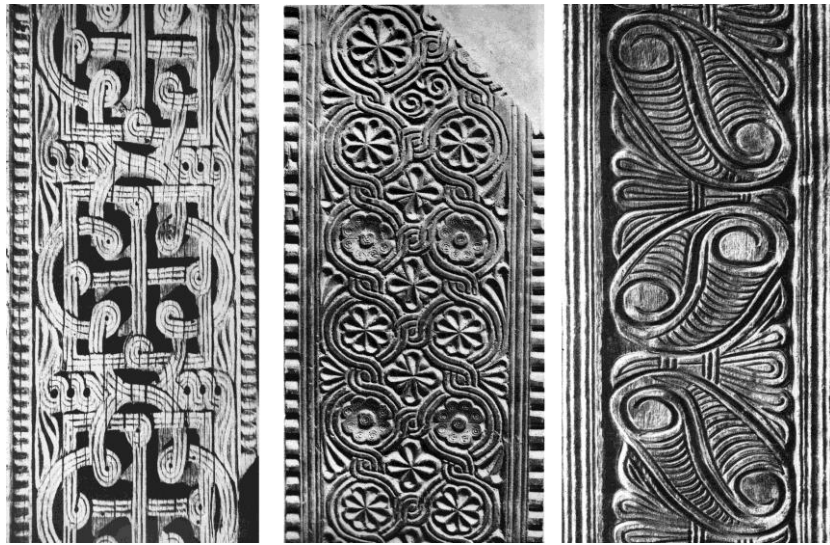
2 – ჯახუნდერის კარებიც დამზადებულია კაკლის ხის მასიური ფიცრებისაგან. ხეზე ჭრით შესრულებული ეს ნიმუში გამოირჩევა მკვეთრად გამოსახული მოცულობითი ელემენტებით. ჯახუნდერის კარების ცენტრალური ვერტიკალური ზოლი დაყოფილია ოთხ კვადრატად. მეორე კვადრატის ორნამენტზე შემორჩენილია ერთადერთი აწურული ელემენტი. ეს აწურული ჭრით შესრულებული ელემენტი შედგება სამი ურთიერთგადამკვეთი რგოლებისაგან და ჩასმულია ორნამენტული სქემის სპეციალურ ბუდეში. კარების დეკორის ელემენტებად გამოყენებულია ასევე, ხის ფირფიტები, რომლებიც მიმაგრებულია ზედაპირზე მომრგვალებულთავიანი ლურსმნით. ეს ფირფიტები მორთულია დაბალ-რელიეფური ორნამენტით. ფიგურების ჩარჩო გვერდები არის დახრილი და მოჭრილია კუთხეზე. ფიგურები დამუშავებულია რელიეფური ჭრით, სადაც დეტალურად არის გამოყვანილი სახის ნაკვთები და დაპირებები.

3 – ჩუკულის კარები ზომით 161 სმ – 77 სმ შესრულებულია ხეზე ჭრით. ის განსხვავდება მთლიანი ხის ფიცრებისაგან დამზადებული (ოწინდალის და ჯახუნდერის კარებისაგან) ჩუკულის კარები წარმოადგენს კარკასულ კონსტრუქციას. კარების კარკასი ქმნის ბადეს, რომელიც შედგება ცხრა განყოფილებისაგან. თითოეული განყოფილება შეესებულა წმინდანების გამოსახულებიანი რელიეფური ფიგურებით გარშემო კი შესაბამისი კონფიგურაციით განლაგებულია აწურული ელემენტები. კარკასებს შორის ჩასმული ცალკეული ფიცარი პლასტიკურად გამოყოფილია კარკასის მთელი ორნამენტული სისტემიდან. აწურული ელემენტები ჩამაგრებულია დაბალი ზომის ჭრილებში. კარკასის შუა ორივე ვერტიკალის დეტალები ეყრდნობა ჰორიზონტალურ სიბრტყეს და დამაგრებულია კოტური შეერთებებით. ეს შეერთებები იმდენად სრულყოფილია, რომ კოტების დამაგრების სისტემა კარების, როგორც შიგნითა, ასევე ფასადურ მხარეს არის შეუმჩნეველი კარების დეკორის პლასტიკური ელემენტები ამოჭრილია სხვადასხვა ფორმის ღარიანი პროფილებით.



ნახ. 19. ამოჭრილი დარიანი ელემენტების პროფილები

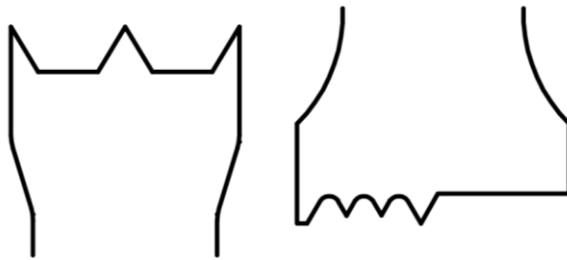
X–XI საუკუნეებში ხის დამუშავებამ და ხეზე მხატვრულმა ჭრამ მიაღწია განვითარების უმაღლეს საფეხურს. ისეთი ძეგლები როგორც: ოწინდალის, ჯახუნდერის და ჩუკულის კარები აჩვენებს იმ დროის არა მარტო შესრულების მაღალ ოსტატობას, არამედ გამოყენებული ხელსაწყოების ტექნიკურ სირთულეს და გამართულობას.



ნახ. 20. ხეზე კვეთით შესრულებული ქართული ორნამენტის ნიმუშები

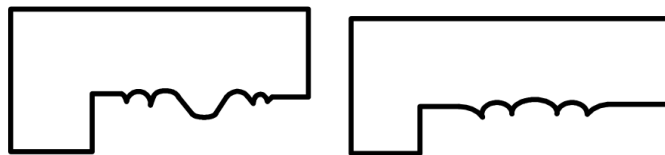
ამ პერიოდში ტექნიკური მიღწევები მიმართული იყო მერქნის ეკონომიურად ხარჯვისთვის. ხელსაწყოების ხარისხი დამოკიდებული იყო საზეინკლო და სამჭედლო საქმის განვითარებაზე. სამჭედლო საქმე უზრუნველყოფდა ხეზე კვეთისთვის საჭირო სპეციალური საჭრელი ხელსაწყოების დამზადებას, რომელიც გამოირჩეოდა მჭრელი პირითა და თავისი მრავალფეროვანი მოხერხებული ფორმებით.

ხელსაწყოები, რომ მოგვეყვანა მოქმედებაში ის აუცილებლად უნდა გაგველესა, რაც შესაძლებელი იყო მხოლოდ ფოლადის ქლიბის გამოყენებით. მერქნის ზედაპირის გასათლელად და დასამუშავებლად ძირითადად იყენებდნენ ცულს და ექოს. მერქნის ზედაპირის დამუშავება ხორციელდებოდა ბოჭკოების მიმართულებით. ხეზე ჭრისთვის იყენებდნენ სხვადასხვა ზომის სატეხებს, ხვეწებს, დანებს. სატეხებისა და ხვეწების პირის ზომები იყო დაწყებული 2,5–3 მილიმეტრიდან რამოდენიმე სანტიმეტრამდე. ფორმების ამოსაღებად იყენებდნენ კოვზისმაგვარ საჭრელებს. ხაზებისა და წარწერების ამოსაჭრელად იყენებდნენ სამკუთხა კვეთის მქონე საჭრელებს. ბურღს ძირითადად მოიხმარდნენ ნახვრეტების გასაკეთებლად და აჟურული ჭრისთვის, სხვადასხვა პროფილის მქონე ბურღებით ღებულობდნენ განსხვავებულ რელიეფურ ფორმებს. მერქნის ზედაპირს ამუშავებდნენ სწორპირიანი და სხვადასხვა კონფიგურაციის პროფილიანი პირების მქონე შალაშინით.



ნახ 21. სხვადასხვა პროფილის მქონე ბურღის პირები

სახაზავი ხელსაწყოებიდან იყენებდნენ სწორ სახაზავს და კუთხის სახაზავს, წრეების შემოსახაზად ფარგალს.

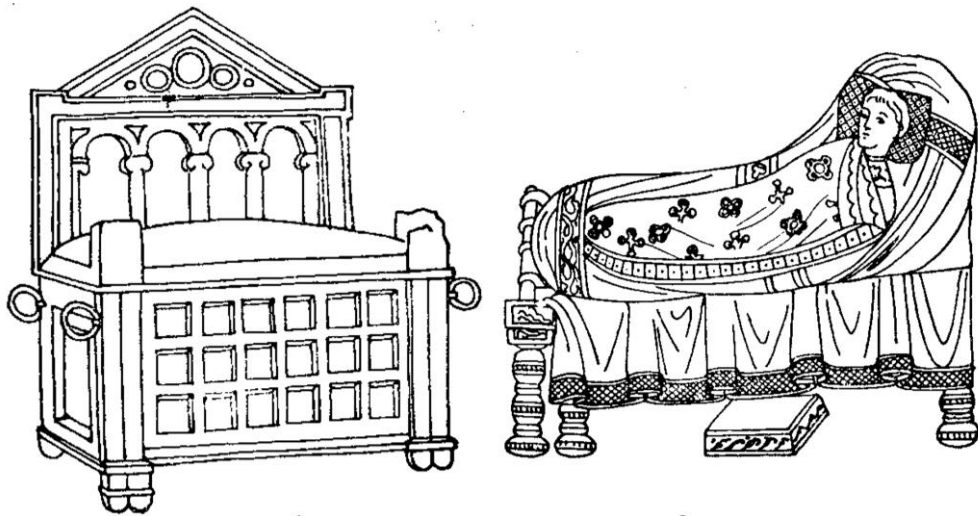


ნახ. 22. შალაშინის დანის პროფილები

ხეზე მხატვრული ჭრით ნიმუშების შესრულებისას ოსტატები გულმოდგინედ ირჩევდნენ ხის მასალას ძირითადი მოთხოვნების გათვალისწინებით: მერქანი უნდა ყოფილიყო მყარი და გამძლე, წრიული რგოლები უნდა ყოფილიყო მაქსიმალურად ერთგვაროვანი, ნუჟრის გარეშე,

რადგანაც ნუჟრი თავისი რთული ტექსტურით ხელს უშლიდა ჭრის პროცესს, აუცილებელ პირობას წარმოადგენდა მერქნის შრობის ტექნოლოგიური პროცესები. მერქანი აუცილებლად უნდა ყოფილიყო ბუნებრივად გამომშრალი, რაც პირდაპირ აისახებოდა ნაკეთობის ხარისხზე. შუა საუკუნეებში მხატვრული ჭრისთვის ძირითადად იყენებდნენ კაკლის ხის მერქანს. რომელიც აკმაყოფილებდა ყველა ამ მოთხოვნას.

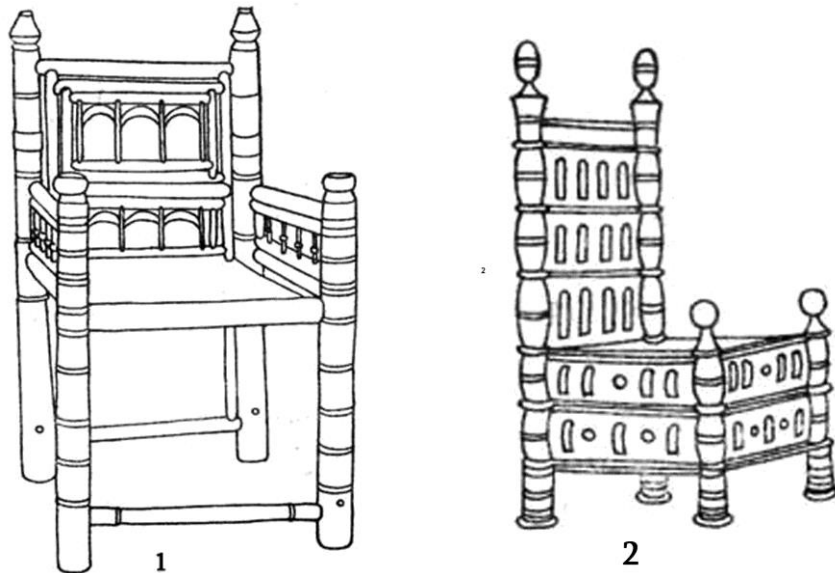
**ბიზანტიის** იმპერია განვითარდა რომის იმპერიის აღმოსავლეთ ნაწილში. მასში შედიოდა ბალკანეთი, დასავლეთ აზია, სირია და ეგვიპტე. ბიზანტიაში აზიის საზღვარზე, აღმოსავლური გავლენით გამდიდრებულმა რომაულმა კულტურამ წარმოშვა ახალი კულტურა. არქიტექტურული ფორმები და დეკორატიული მოტივები თავდაპირველად რომაული ტრადიციების მატარებელი იყო შემდეგ კი აღმოსავლეთის ზეგავლენით ის გახდა უფრო მდიდრული და პომპეზური. რომის დაცემით პრაქტიკულად დასრულდა ხელოვნების კლასიკური პერიოდი. ბიზანტია გახდა ახალი დეკორატიული ხელოვნების განვითარების ცენტრი. ბიზანტიური ავეჯი ძირითადად ხისაგან იყო დამზადებული. ეს ავეჯი ხასიათდებოდა გამარტივებული ფორმებით. იმპერატორებისა და მეფეების მინიატურებში ჩვენ ვხვდებით პრიმიტიულად გაფორმებულ დასაჯდომი ავეჯის, საწოლების, სკივრებისა და მაგიდების გამოსახულებებს. ამ ავეჯისთვის დამახასიათებელი იყო მოჩუქურთმებული საყრდენი და საზურგე ზედაპირები.



ნახ. 23. 1 – ხის მასალისაგან დამზადებული სკამი, 2 – საწოლი ჩარხული საყრდენებით

დეკორაციისთვის გამოიყენებოდა ფერადი მხატვრობა და მოოქროვილი ელემენტები, ავეჯის ნაკეთობებს შორის გავრცელებული იყო დასაკეცი სკამები და სკივრები. საეკლესიო სკამები მორთული იყო ოქროს ფურცლით, ფერადი მინანქრით და ძვირფასი თვლებით. ორნამენტულად გამოიყენებოდა ქრისტიანული მოტივების გამოსახულებები: მტრედი, თევზი, ბატკანი, ფარშევანგი; მცენარეებიდან; ყურძნის მტევანი, ხორბლის ყელი, დაფნის გვირგვინი, ზეთისხილის რტო და პალმის ფოთოლი. ბიზანტიელებმა შეინარჩუნეს და განაგრძეს რომაული ტრადიციები საცხოვრებლებისა და სასახლეების ინტერიერის მოწყობაში ბიზანტიური სტილის ავეჯის ორნამენტულად მდიერი ზეგავლენა მოახდინა შუასაუკუნეების სხვადასხვა ქვეყნის სტილებზე.

**რომანული სტილი** გავრცელდა II ათასწლეულის დასაწყისში. ეს სტილი დომინირებდა ევროპაში თითქმის 400 წლის განმავლობაში. ავეჯს უმეტეს შემთხვევაში ფარავდნენ ცოცხალი ფერების საღებავის ფენით რათა დაემალათ დეფექტები. ნედლი ხის კარკასზე გადაკრული იყო ტილოს ნაჭერი. ავეჯის ზედაპირების მორთულობას ასევე ამუშავებდნენ ხეზე კვეთით. სკამისა და სავარძლის საყრდენები შედგებოდა გამოჩარხული დეტალებისგან.

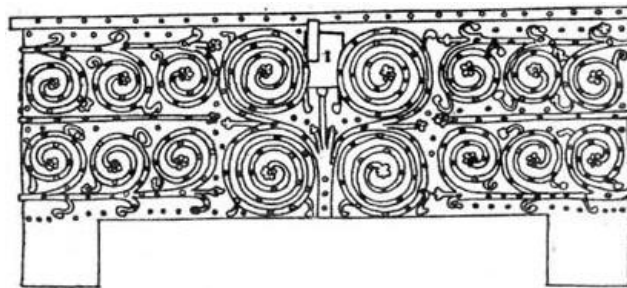


ნახ. 24. 1 – სავარძელი ჩარხული ელემენტებით 2 – სკამი ჩარხული ელემენტებით

სკივრი შუა საუკუნეებში უნივერსალური ავეჯი იყო. მას ქონდა როგორც დასაჯდომი, ასევე დასაწოლი ფუნქცია. ადრეული რომანული სტილის



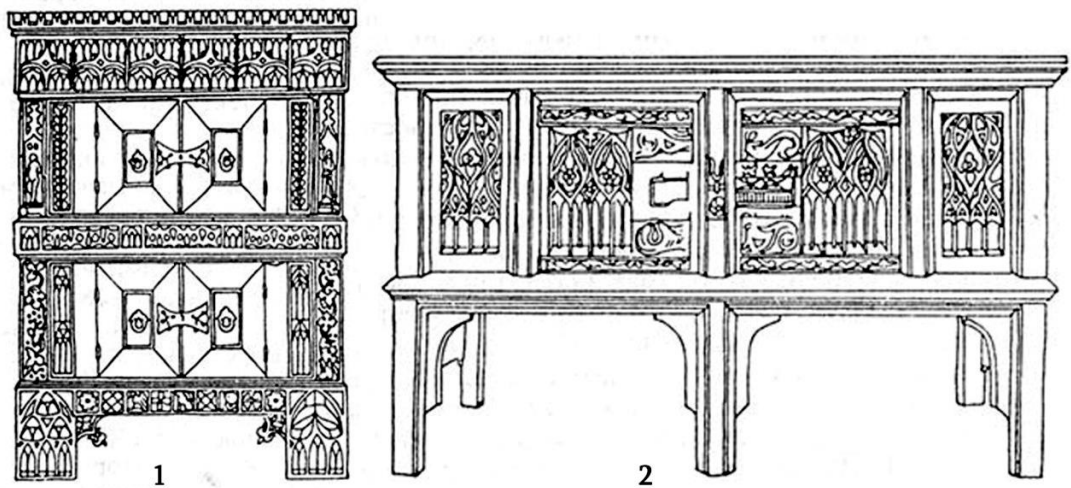
სკივრების ფორმები საფუძველს იღებს უძველესი სარკოფაგებიდან, მათი დიზაინი ანტიკური სკივრების მსგავსია. სკივრებს ამზადებდნენ ნაძვისა და მუხის ხის მასალისაგან. სკივრებს ასევე იყენებდნენ ფულისა და ძვირფასეულობის შესანახად. დასაჯდომი ავეჯი იმ დროს თითქმის არ იყო გამოყენებული. დასაჯდომად იყენებდნენ დაბალ სკამებს, რომლებიც განლაგებული იყო კედლების გასწვრივ. სავარძლები მხოლოდ უფროსებისთვის იყო განკუთვნილი. ამ სავარძლების კონსტრუქცია და სიმაღლე ასახავდა მფლობელის კეთილშობილების ხარისხს. ჩუქურთმებში ძირითადად ასახული იყო დრაკონებისა და მცოცავი მცენარეების გამოსახულებები.



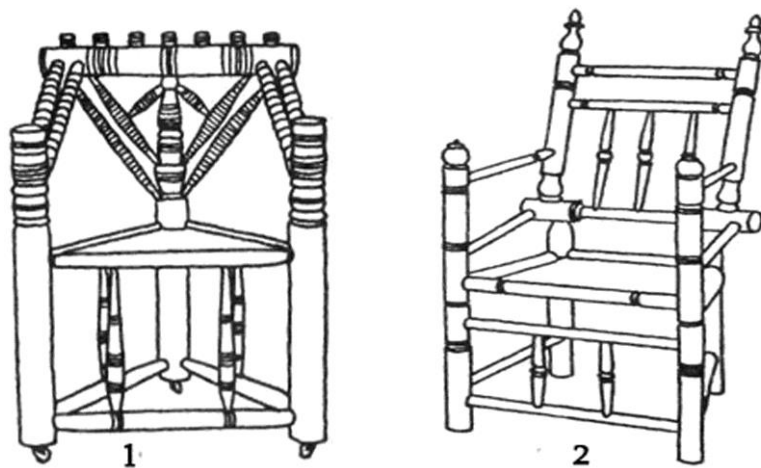
ნახ. 25. სკივრის ფასადი

გოთიკური სტილი შეიქმნა საფრანგეთში, რომელმაც იარსება 300 წელი (1200–1525) პარალერულად ეს სტილი შეიქმნა ბელგიაში, შვეიცარიაში და გერმანიაში. გოთიკური არქიტექტურა გამოირჩეოდა თავისი სივრცობრივი გადაწყვეტით, ნაგებობის სრულიად ახალი კარკასული სისტემითა და თაღების ახალი კონსტრუქციით.

1320 წელს გამოიგონეს ხე-ტყის სახერხი დანადგარი, რომელმაც მთლიანად შეცვალა საწარმოო პროცესი ავეჯის დამზადების სფეროში. ამ დანადგარის საშუალებით შესაძლებელი გახდა ხის ტანის დახერხვა ფიცრებად, რამაც განაპირობა მძიმე მასიური ავეჯი შეცვლილიყო კარგად კონსტრუირებული სადურგლო ავეჯით. შემუშავდა ახალი ტექნოლოგიური მიდგომები ავეჯის განსხვავებული ფორმებისა და კონსტრუქციების შესაქმნელად. ავეჯის დასამზადებლად მოიხმარდნენ სხვადასხვა ჯიშის ხის მასალებს: მუხა, კაკალი, კედარი, ფიჭვი, ნაძვი და სხვა. გოთიკურ ავეჯში ხშირად გვხვდება საეკლესიო არქიტექტურის სხვადასხვა ელემენტები.



ნახ. 26. 1 – ორ იარუსიანი კარადა დეკორის ელემენტებით, 2 – სკივრი დეკორის ელემენტებით

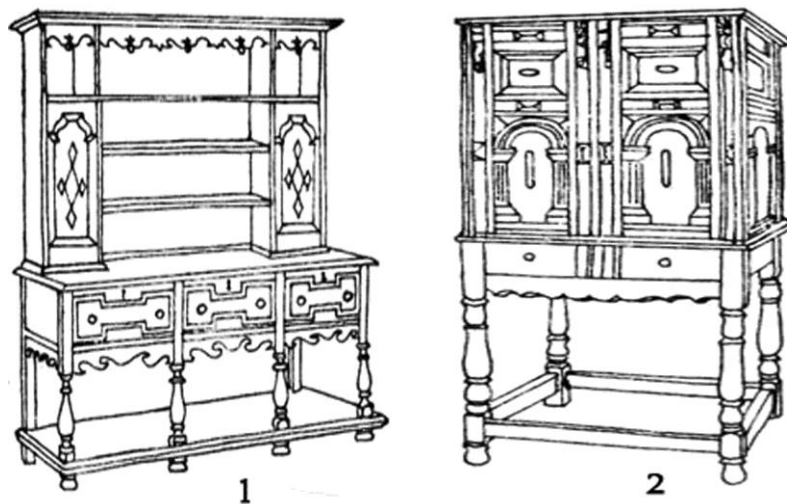


ნახ. 27. ინგლისური გოთიკური ავეჯის ნიმუშები: 1 – სავარძელი სამკუთხა ფორმის დასაჯდომით და ჩარხული ელემენტებით 2 – სავარძელი ჩარხული ელემენტებით

ავეჯის შესამკობად იყენებდნენ: აჭურულ ორნამენტს, მცენარეულ ორნამენტს, ლენტურ წნულებს და სტილიზებურ კვეთილ ორნამენტებს. ფართედ გამოიყენებოდა ხის მოზაიკის ინტარსიის ტექნიკა. გოთიკური სტილი ითვლება მნიშვნელოვან ეტაპად ავეჯის სტილების განვითარების ისტორიაში ამ სტილმა შექმნა ავეჯის ნაკეთობების მრავალი ახალი ტიპი. ავეჯის ჩამონათვალში შედიოდა: სკივრები ჩარჩო-პანელოვანი შეკვრით და მდიდრულად შემკობილი აჭურული ორნამენტებით, დასაკეცი სკამები საზურგით, სავარძელი რომელსაც ქვედა ნაწილი ქონდა სკივრის ფორმის, საწოლები მთლიანად დაფარული ქსოვილით, ბუფეტი მდიდრული

კვეთილობით, ორიარუსიანი კარადები მოპირკეთებული ინტარსიის ტექნიკით, სავარძლები გამოჩარხული ელემენტებით, დასაკეცი მაგიდები მოპირკეთებული ინტარსიის ტექნიკით და სხვა.

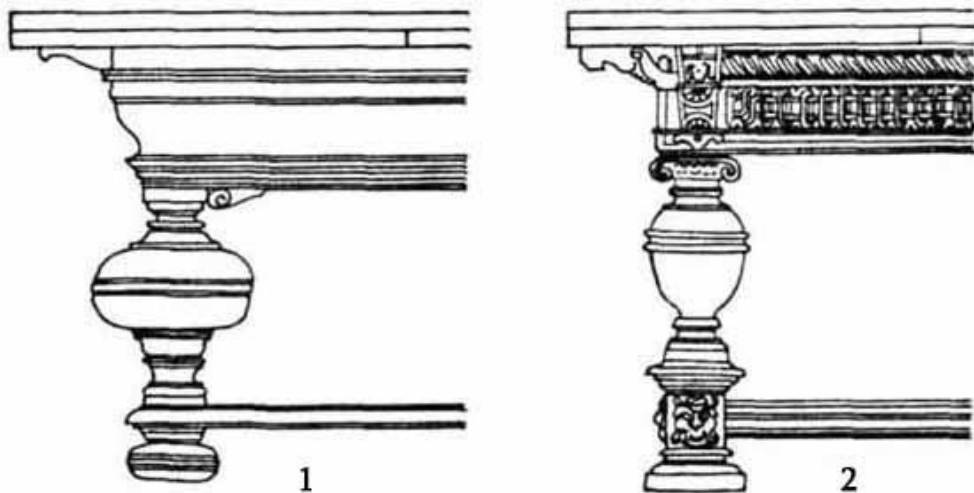
**რენესანსის** სტილს საფუძველი ჩაეყარა იტალიაში XIV საუკუნეში. ამ პერიოდში სასახლეთა ინტერიერები გამოირჩეოდნენ თავისი მონუმენტალობითა და სივრცითი ეფექტებით. სასტუმრო და საძილე ოთახები გაწყობილი იყო მდიდრული ავეჯით. რენესანსის ეპოქაში ფორმათა წარმოქმნა ატარებს რაციონალურ და გეგმაზომიერ ხასიათს. პირველ ეტაპზე ავეჯის ნაკეთობების გამოსახვა ხდებოდა ქალაქდზე პროექტის სახით, რომელსაც შემდგომში ოსტატები ახორციელებდნენ მასალაში. ავეჯს ამზადებდნენ მაღალი დონის ოსტატი-დურგლები, რომლებიც ზედმიწევნით შეიგრძნობდნენ ფორმას, კონსტრუქციას, შეეძლოთ ესკიზებისა და ნახატის შესრულება და ბრწყინვალედ ფლობდნენ ყველა ტექნიკურ თუ ტექნოლოგიურ ოპერაციებს. კიდევ უფრო დაიხვეწა და განვითარდა მორებისაგან ფიცრების მიღების ტექნოლოგია, რომელმაც ხელი შეუწყო ეწარმოებინათ ბევრად უფრო მსუბუქი ავეჯი.



ნახ. 28. 1 – ორიარუსიანი ჭურჭლის კარადა ჩარხული ელემენტებით  
2 – ჭურჭლის კარადა ჩარხული ელემენტებით

ავეჯის წარმოების ისტორიაში ეპოქალურად შეიძლება ჩაითვალოს მერქნისაგან თხელი ფანერის მისაღები ჩარხის გამოგონება. ამ სტილის ავეჯის ნაკეთობების ჩამონათვალში შედიოდა: სკამი, დასაკეცი სკამი, სავარძელი, მბრუნავი სავარძელი, სკივრები მორთული მდიდრული ჭრით,

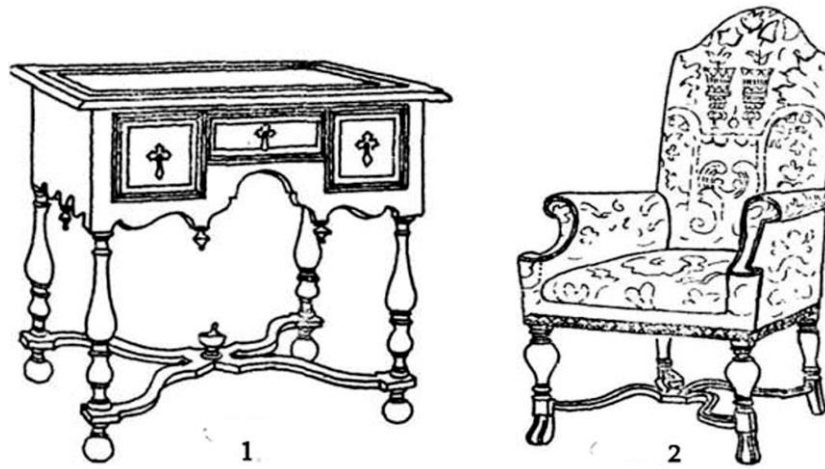
ჭურჭლის კარადები, ორკორპუსიანი კარადები, მაგიდები გამოჩარხული ფეხებით, საწოლები, დივანი და სხვა. რენესანსის ავეჯი ხასიათდებოდა მკაფიო ფორმებით, სადაც გამოყენებული იყო არქიტექტურული ელემენტები. ის მორთული იყო ძლიერ დეტალიზირებული მდიდრული რელიეფური ჭრით, ორნამენტული და ფიგურული კომპოზიციებით, მცენარეული ორნამენტებით, ცხოველის ფიგურებით, ფანტასტიკური არსებების გამოსახულებით, ფრინველების, ადამიანის თავის გამოსახულებებით და გირლიანდებით. ხეზე ჭრის გარდა ავეჯის ნაკეთობებს ამკობდნენ ინტარსიისა და ინკრუსტაციის ტექნიკით. ავეჯს ამზადებდნენ ძირითადად მუხისა და კაკლის ხის მერქნისაგან.



ნახ. 29. 1 – მაგიდა გამოჩარხული ფეხებით, 2 – მაგიდა გამოჩარხული ფეხებით და ჭრით

ბაროკოს სტილი წარმოიშვა იტალიაში XVI საუკუნის ბოლოს. სიტყვა „barocco“ იტალიურად ნიშნავს ნიჟარას. ამ სტილის ელემენტების ძირითადი დამახასიათებელი ფორმები მოდის ანტიკურობიდან და გამოირჩევა დინამიური, მდიდრული ფორმებითა და პომპეზურობით. ბაროკო ერთი მხრივ ითვლება დეკორატიულ სტილად, მეორეს მხრივ ის აგებულია კლასიკური არქიტექტურის ფორმებზე. ავეჯის ძირითად დეკორატიულ მორთულობებს ასრულებდნენ რელიეფური და აჟურული ჭრით. ამ პერიოდისთვის დაფანერება ითვლებოდა ავეჯის მოპირკეთების მთავარ სახედ. დაფანერებას ახორციელებდნენ სხვადასხვა ფორმის ზედაპირებზე,

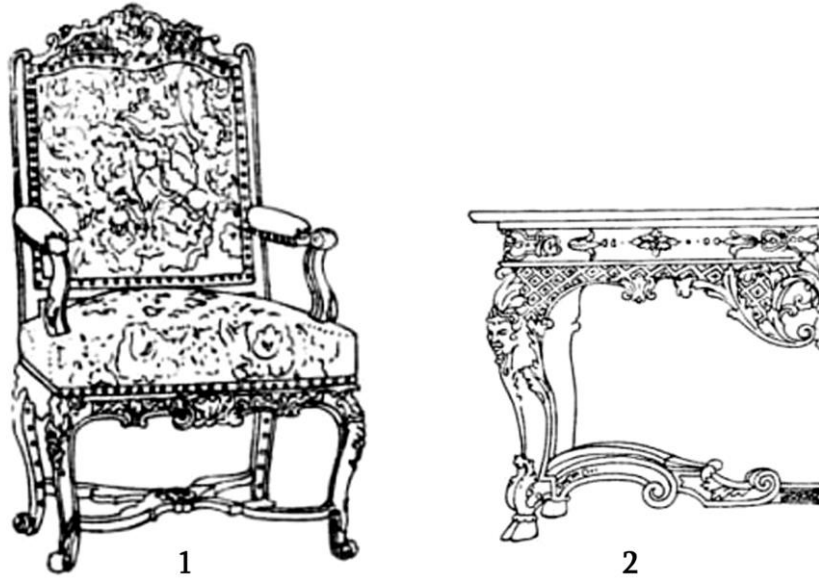
მაგალითად, სფერული ფორმის ზედაპირს აფანერებდნენ მოზაიკის პრინციპით.



ნახ. 30. 1 – საწერი მაგიდა ჩარხული ელემენტებით,  
2 – სავარძელი ჩარხული ელემენტებით

ფანერის პატარა ფირფიტებს ზედაპირს აკრავდნენ ტომარაში მოთავსებული გახურებული ქვიშით. ავეჯის მორთვა ხდებოდა ასევე ინკრუსტაციის, ინტარსიისა და მარკეტრის ტექნიკით. სახარატო დანადგარით ხორციელდებოდა ავეჯის დეტალების მოცულობითი ელემენტების გამოჩარხვა. ავეჯს ძირითადად ამზადებდნენ კაკლის ხის მერქნისაგან, რომელიც საუკეთესო იყო ჭრისთვის და მრუდე ხაზების დასამუშავებლად. ამ სტილის ძირითად სახეობებს წარმოადგენდა: სკამი კვეთილი ელემენტებით, სავარძელი სირბილით, სავარძელი ჭრით შესრულებული ელემენტებით და წნულის ფორმის ფეხებით, კონსოლები, სკივრი მდიდრული ჭრით, დივანი, კარადები არქიტექტურულ დეკორატიული ფორმით და გამოჩარხული ფეხებით, კომოდები ინტარსიის ტექნიკით მოპირკეთებული, ინკუსტრირებული საწერი მაგიდები, ადრეული ფორმის შეზლონგები, ბუფეტი, ტუალეტის მაგიდა სარკით და სხვა.

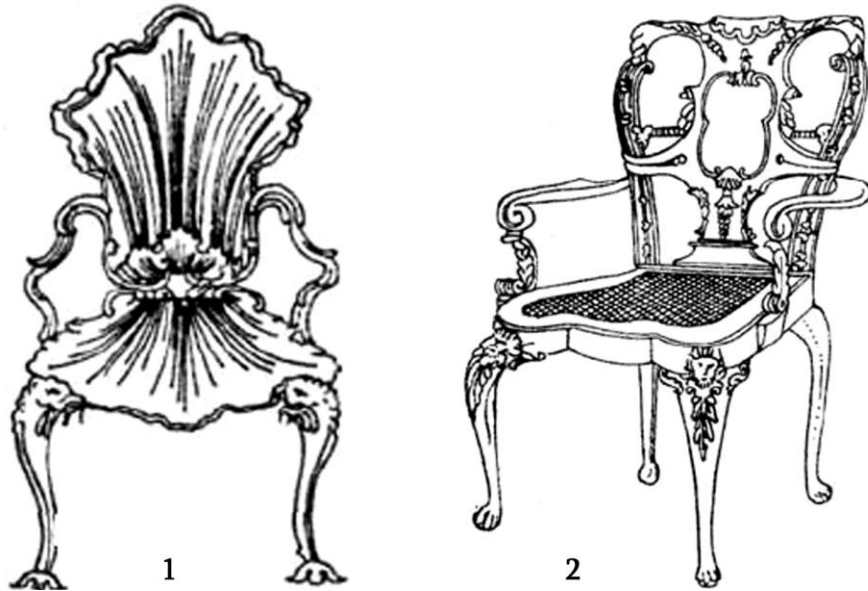
**როკოკოს** სტილი შეიქმნა საფრანგეთში მეფე ლუდოვიკო XV-ის მმართველობის დროს, ამ სტილის ორნამენტულ-დეკორატიული მორთულობები ასოცირდებიან ნიჟარისაგან შედგენილი ორნამენტის ფორმებით. ამ სტილის ავეჯი გამოირჩევა თავისი დახვეწილი ფორმებით,



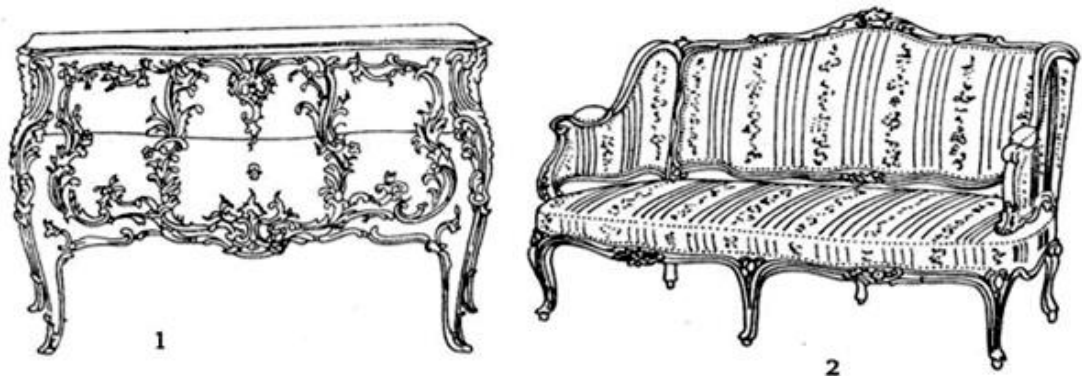
ნახ. 31. 1 – სავარძელი ღუნვილი ფეხებით, 2 – კონსოლი შესრულებული კვეთილობით

სიმსუბუქით და ასიმეტრიული ფორმებით, მისთვის უცხოა სიმეტრიული და პირდაპირი ხაზები. კორპუსული ავეჯის სახეობებში, ძირითად როლს თამაშობს კომოდი და სეკრეტეი. სიტყვა *gomme* ფრანგულიდან ნიშნავს მოხერხებულს, რაც შეეხება სეკრეტერს, ის გამოირჩევა საწერი მაგიდისა და კაბინეტის პრაქტიკული კომბინაციითა და რაციონალურობით. როკოკოს სტილის ავეჯში ხეზე ჭრას უჭირავს მოკრძალებული ადგილი, ნაკეთობები ძირითადად მორთული იყო ბრინჯაოს დეკორატიული ელემენტებით. სკამის, სავარძლის, კომოდის და მაგიდის ფეხები იყო მოღუნული ფორმის ცხოველებისა და ფრინველების ფეხების გამოსახულებებით. ავეჯის ტალღისებური ზედაპირების მოპირკეთება ხორციელდებოდა დაფანერებით, ინტარსიისა და ინკრუსტაციის ტექნიკით. ავეჯის დასამზადებლად იყენებდნენ, ძვირფას მასალებს: ხის ეგზოტიკური ჯიშებს, (წითელი ხე, გარეული ალუბალი, ამრანტა და სხვა), მარმარილოს, გობელენს, ბრინჯაოს, ოქროს. ამ სტილის ერთერთ შემოქმედათ ითვლება ცნობილი ინგლისელი ოსტატი თომას ჩიპენდელი, ის იყო, როგორც პრაქტიკოსი შემსრულებელი, ასევე ავეჯის მრავალი პროექტის ავტორი. ამ პერიოდის ავეჯში გამორჩეული იყო შედეგი სახეობები: მაგიდები ფერადი ინკრუსტაციით, სკივრები ინტარსიითა და მოოქროვილი ბრინჯაოს დეტალებით, დივანი

სირბილითა და მოოქროვილი ჭრით, სავარძელი რელიეფური და აჟრული კვეთილი ელემენტებით, რბილი სავარძელი, სეკრეტერები, საწერი მაგიდები, სკამი და სხვა.

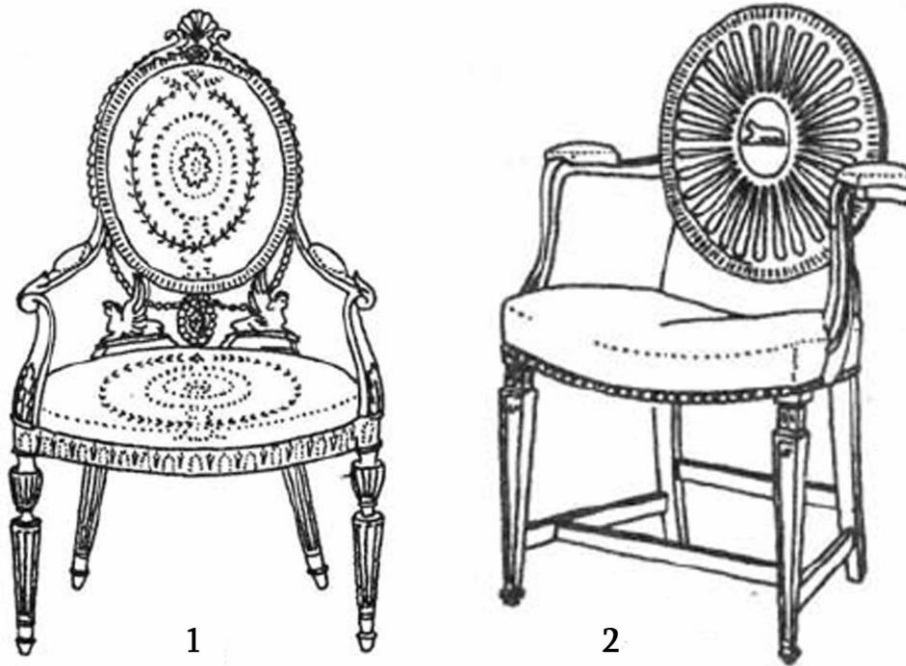


ნახ. 32.1 – სავარძელი-ნიჟარა, 2 – სავარძელი ჩიპენდელის ნამუშევარი



ნახ. 33. 1 – კომოდი ხეზე კვეთით, 2 – დივანი ხეზე კვეთითა და დეკორით

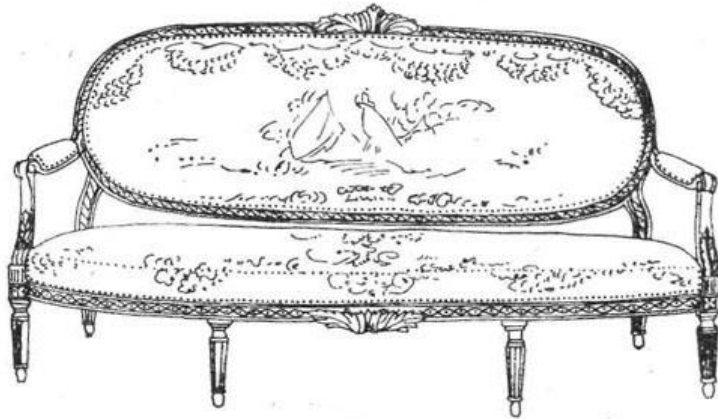
კლასიციზმი ითვლება სამეფო სტილების ბოლო სტილად. ის შეიქმნა საფრანგეთში XVIII საუკუნის ბოლოს და სახელდება, ასევე, როგორც ლუდოვიკო XVI სტილი. კლასიციზმი ლათინური სიტყვაა და ნიშნავს სანიმუშოს. ამ სტილის დამახასიათებელი ფორმები თავდაპირველად მოგვევლინა არქიტექტურაში, შემდეგ კი საავჯო ხელოვნებაშიც აისახა. კლასიციზმის სტილის ავეჯში ისევ გაცოცხლდა ანტიკური სამყაროს მხატვრული ტრადიციები, ორნამენტის დინამიური ფორმები იცვლება სწორხაზოვანი დაწყნარებული ფორმებით.



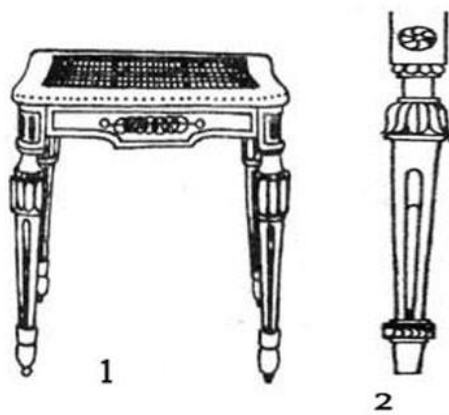
ნახ. 34. 1 – სავარძელი ოვალური საზურგით, ხეზე ჭრით და ჩარხული ელემენტებით, 2 – სავარძელი ოვალური საზურგით და დეკორის ელემენტებით

ამ სტილის ნაკეთობის ზედაპირის შეერთებები ხდება უფრო მარტივი და გასაგები. ავეჯის მორთულობისთვის მარკეტრით მოპირკეთებასთან ერთად იყენებდნენ ხეზე ჭრას ან ნაჭედი თხელი ბრინჯაოს დეკორატიულ ელემენტებს. ნაკეთობის დასამზადებლად ყველაზე უფრო ხშირად ამუშავებდნენ წითელ ხეს, მსხალს, კაკალს, ეგზოტიკურ ხის ჯიშებს, ატლასის ხეს და სხვა. კლასიციზმის სტილის ავეჯის ნაკეთობების ჩამონათვალში შედიოდა: სეკრეტერები მოცულობითი რთულპროფილიანი გამოჩარხული ფეხებით და მოპირკეთებული მარკეტრის ტექნიკით, სკამი მოოქროვილი ჭრით და გადაკრული სირბილით, სავარძელი აჟურული ჭრით, სავარძელი გამოჩარხული ფეხებით და დაწნული საზურგით, სავარძელი ლომის თათის ფორმის ფეხებით და გრიფონების გამოსახულებიანი სახელურებით, დივანი მოცულობითი რთულპროფილიანი გამოჩარხული ფეხებით და ხეზე ჭრით, შეზღონგი შესრულებული ხეზე ჭრით და გამოჩარხული ფეხებით, სერვანტი გამოჩარხული ელემენტებით, საწოლები და მაგიდები გამოჩარხული რთულპროფილიანი ელემენტებით და ასევე სხვადასხვა დანიშნულების და ზომის კარადები.





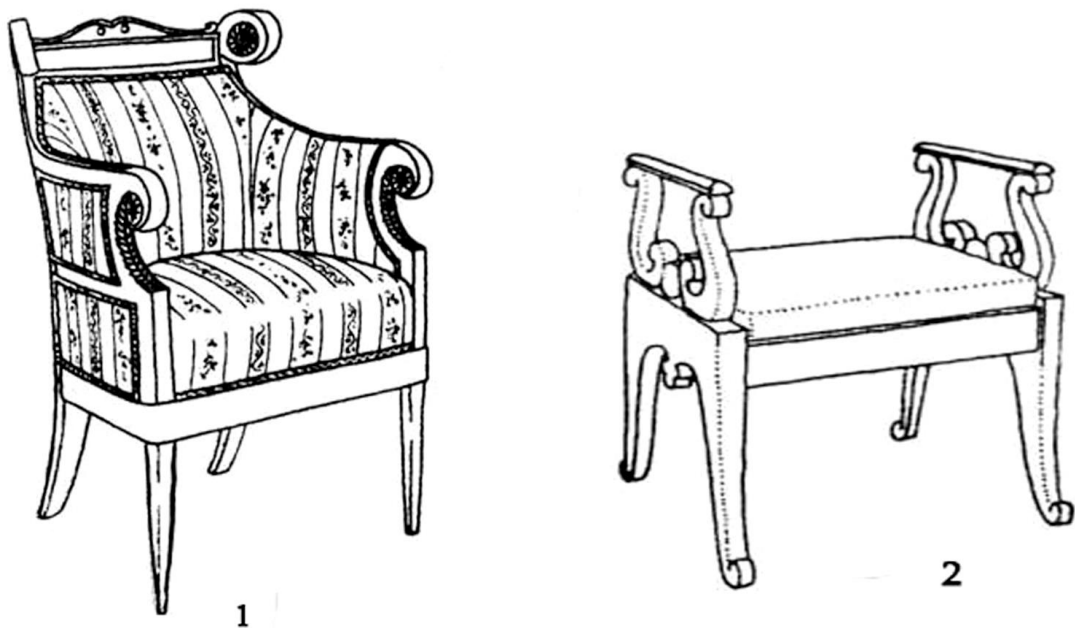
ნახ. 35. დივანი ოვალური საზურგით ხეზე კვეთით და ჩარხული ელემენტებით



ნახ. 36. 1 – ბანკეტა ჩარხული საყრდენებით, 2 – ფეხის ჩარხული ფორმა

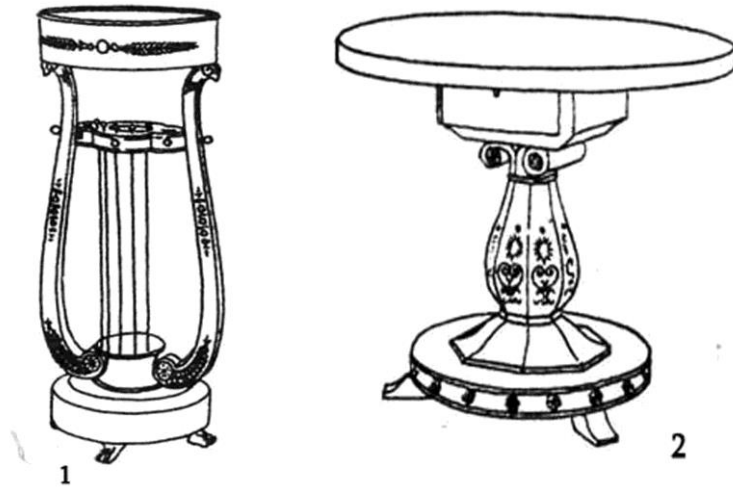
ამპირის სტილი წარმოიშვა მე-XVIII საუკუნის მეორე ნახევარში. ის არის უმაღლესი წერტილი და ამავდროულად ბოლო აკორდი კლასიციზმის ტენდენციებისა. ნაპოლეონის იმპერიის ეპოქაში კლასიციზმი ხელახლად იბადება – ამპირის სტილში. ამპირის სტილი არ წარმოიშვა მხატვრული ტენდენციების თავისუფალი, ბუნებრივი განვითარების შედეგად, არამედ შეიქმნა ხელოვნურად ზემოდან დაკვეთით. ამ სტილის ხელოვნება ხდება უფრო მონუმენტური და ამბიციური. წინა ეპოქის ინტერიერების დახვეწილი გრაციოზულობა ცივი პათოსით იცვლება, შემოქმედებითი ფანტაზია რაციონალურობას უთმობს ადგილს. ბინები მორთული იყო პარიზელი არქიტექტორების პიერ ფონტენისა და შარლ პერსიეს შექმნილი დიზაინით, ეს არქიტექტორები შეიძლება ჩაითვალოს ამპირის სტილის შემქმნელებად. ამ სტილის ფართოდ გავრცელებას დიდად შეუწყო ხელი პერსიესა და

ფონტენის მიერ 1801 წელს გამოქვეყნებულმა ალბომმა ავეჯისა და ინტერიერის პროექტირების სახელწოდებით. ამ პროექტებში ავტორები ფართოდ იყენებდნენ ძველ ეგვიპტური გამოყენებითი ხელოვნების მოტივებს. ავეჯის ფორმები ამჰირის სტილში გავრცელდა მთელს ევროპაში. კაბინეტის ავეჯის ზედაპირები კვლავ მუშავდება კლასიკური არქიტექტურის ელემენტებით – სვეტები, პილასტრები, კარნიზები და დეკორატიული მოტივები ჩნდება მაგიდებისა და სკამის დიზაინში თითქმის ყოველგვარი ცვლილებების გარეშე რომელიც გადატანილია ანტიკური ნიმუშებიდან: სფინქსები, გრიფონები, ლომის თათები და ა.შ. ამჰირის სტილის ინტერიერებში სუფევს სიმშვიდე, მოწესრიგებულობა, ელემენტების სრული ბალანსი და მკაცრი სიმეტრია.

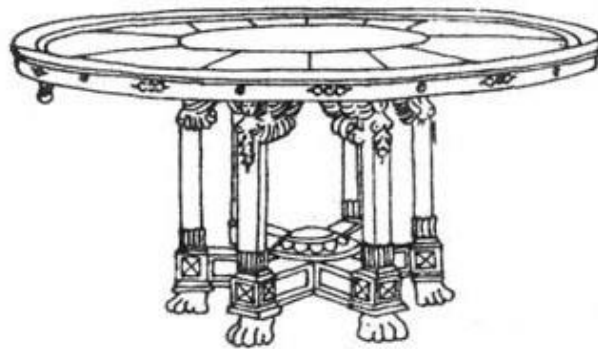


ნახ. 37. 1 – ვენური სავარძელი, 2 – ბანკეტკა დეკორატიული ელემენტებით

ავეჯის ფორმებში, სადაც შესაძლებელია შემოტანილი იყო უძველესი მარმარილოსა და ბრინჯაოს ძეგლებიდან ნასესხები მოტივები ან ვაზებზე გამოსახულებები. ხშირ შემთხვევაში იყენებდნენ ხის ღია ფერის სახეობებს - ნეკერჩხალი, ალუბლისა და ლიმონის ხეს, ასევე ავეჯის დასამზადებლად გამოიყენებოდა მაკაგონის ხის მერქანი. ავეჯი მზადდებოდა თეთრი ლაქის ტექნიკით და შემკული იყო მოოქროვილი ჩუქურთმებით.



ნახ. 38. 1 – ხელის საბანი ლირის ფორმის, 2 – მრგვალი მაგიდა ჩარხული საყრდენით

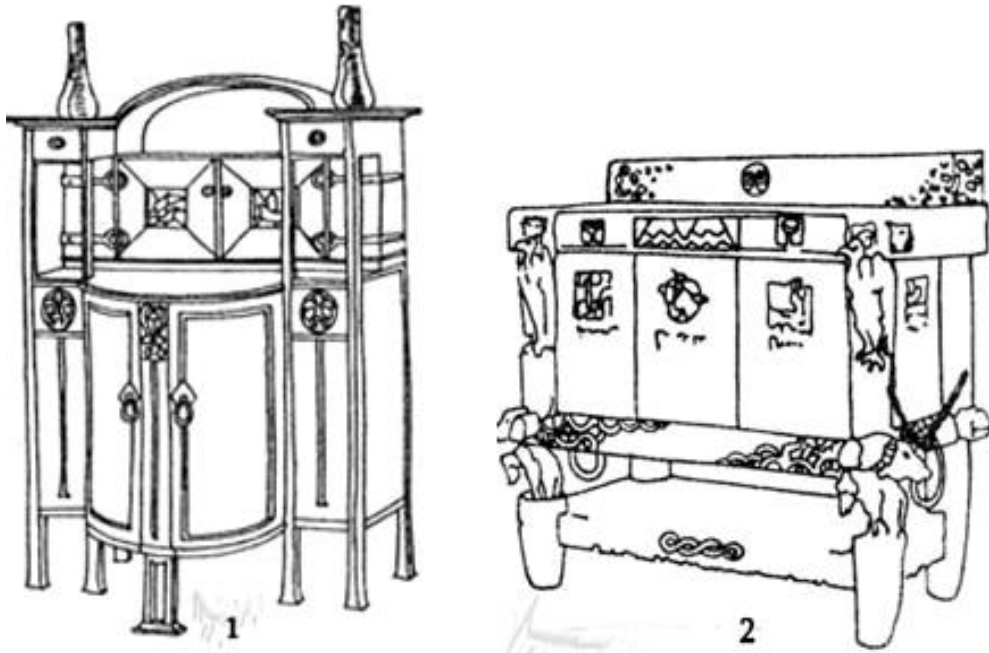


ნახ. 39. მრგვალი მაგიდა მოცულობითი ჩარხული ელემენტებით

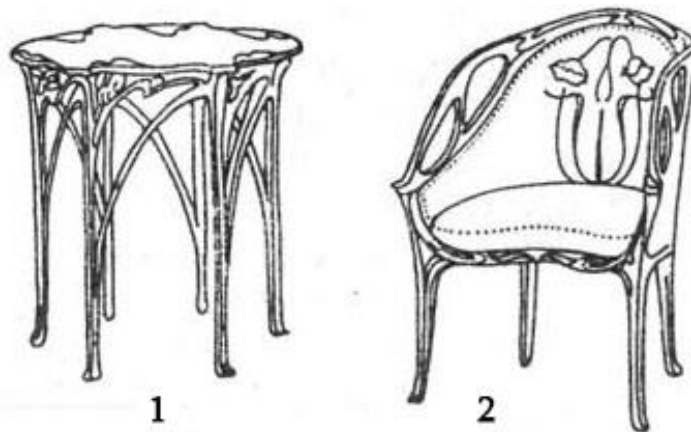
მე-XIX საუკუნე იყო მრეწველობისა და ვაჭრობის აღმავლობის ოქროს ხანა. დიდი აღმოჩენებისა და გამოგონებების ხანა, რომელიც დასასრულს უახლოვდებოდა. ძველი სტილების ფორმების უარყოფა და ოფიციალური აკადემიური სტილის მიმართ პროტესტის გამოხატვა იყო **მოდერნის სტილის** ყველაზე დიდი გამოვლინება. ამ სტილის ავეჯში ორი ძირითადი მიმართულება იკვეთება და ვითარდება კონსტრუქციული (სწორხაზოვანი და მკვეთრად გამოსახული აგებულებით) და დეკორატიული (კაპრიზული ფორმები და კონტურები). მოდერნის სტილის ერთერთ მიღწევად შეიძლება ჩაითვალოს ის რომ მხატვრები რომლებიც აპროექტებდნენ ავეჯს, ამავდროულად თვალყურს ადევნებდნენ პროექტის განხორციელებას სახელოსნოებში, მათ უშუალო კავშირი ჰქონდათ წარმოებასთან.

მოდერნის სტილის შემქმნელები თვლიდნენ, რომ შენობის არქიტექტურა, ინტერიერი და ავეჯი უნდა ყოფილიყო ერთიანი მხატვრულ

გარემოს შემადგენელი ნაწილი, სადაც ფორმა და ორნამენტები ორგანულად ერწყმიან ერთმანეთს. ამ სტილის ავეჯის ნაკეთობები მორთული იყო ლითონის ინტარსიით. რბილ ზედაპირებზე გადასაკრავად იყენებდნენ სტილიზირებულ მცენარეული ორნამენტებით გამოსახულ ქსოვილს. ავეჯის დასამზადებლად გამოიყენებოდა სხვადასხვა მასალები: ხე, ფანერა, ლითონი, მინა და სხვა.



ნახ. 40. 1 – კომბინირებული კარადა, 2 – სკივრი მასიური ფორმებით



ნახ. 41. 1 – რთული კონსტრუქციის მაგიდა, 2 – სავარძელი

მოდერნის სტილი, ეს არის XX საუკუნის პირველი განხორციელებული ოცნება, რომლის ისტორიულ დანიშნულებას ჩვენ ვხედავთ იმაში რომ მან გზა გაუხსნა თანამედროვე არქიტექტურისა და გამოყენებით ხელოვნების განვითარებას.



ნახ. 42. 1 – სავარძელი, 2 – მაგიდა სამ ფეხზე.

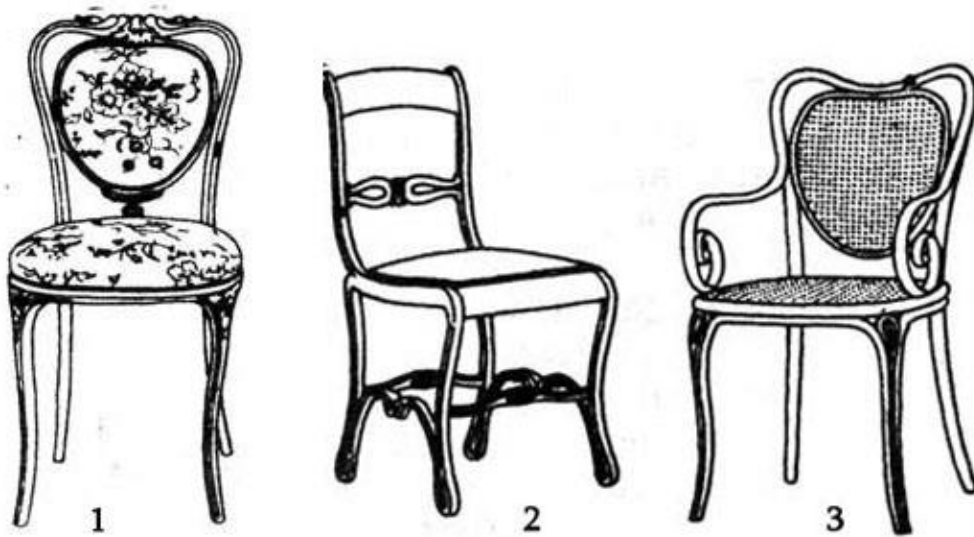
XX საუკუნის პირველ ათწლეულში მოდერნის სტილს ისეთივე უეცარი სისწრაფით მოუწია სცენიდან ჩამოსვლა რა სისწრაფითაც ის მოგვევლინა საუკუნის მიწურულს. მოდერნის სტილი ჩაანაცვლა კონსტრუქტივიზმა, რომელსაც ახასიათებდა რაციონალური და მკაცრად უტილიტარული ფორმები. ამ ახალი მხატვრული მიმდინარეობის ენთუზიასტები იყვნენ არქიტექტორები: ანრი ვან დე ვილდე, პეტერ ბელენსი, გერმან მუტეზიუსი, ვალტერ გროპიუსი. ამ პერიოდს უკავშირდება ავეჯის ნაკეთობების მასიური წარმოების დანერგვა.

პირველი მსოფლიო ომის დასრულების შემდეგ ხელოვნებაში იწყება ძიებისა და ექსპერიმენტების ახალი ეტაპი. მშენებლობის აქამდე გაუგონარმა ტემპმა და მასშტაბებმა და ხელოვნების სხვადასხვა მიმართულებების განვითარების მრავალფეროვნებამ წარმოშვა უკიდურესად რთული, თითქმის ქაოტური სიტუაცია. ორიენტაციის გასაადვილებლად, მე XX საუკუნის პირველი ექვსი ათწლეული შეიძლება დაიყოს სამ მოკლე პერიოდად:

I – ეტაპი: 1900-1914 წლები მხატვრული კულტურის ინტენსიური განვითარების წლები, რომელიც უეცრად წყდება ომით და მოიცვა მთელი ევროპა.

II – ეტაპი: 1919-1939 წლები რადიკალური ცვლილებებისა და განვითარების წლები, რომელიც ამ შემთხვევაშიც შეჩერებული იქნა ომით და მოიცვა მთელი ქვეყნები და კონტინენტები.

III – ეტაპი 1945-1960 წლები გაბედული ექსპერიმენტების, თანამედროვე ფორმებისა და კონსტრუქციების შექმნის შესაძლებლობები, რომელთა განხორციელება ხდებოდა ახალი განვითარებული ტექნიკური აღჭურვილობის მქონე საწარმოებში.



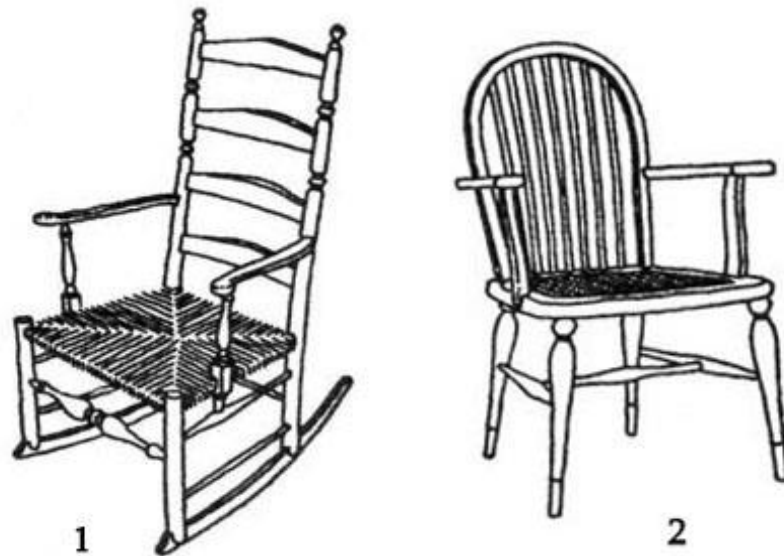
ნახ. 43. 1 – სკამი, 2 – გრებილი ავეჯის პირველი ნიმუში 3 – სავარძელი

მე-XX საუკუნის პირველ ათწლეულში ევროპაში გაჩნდა მოძრაობა ხელოვნების განახლებისთვის. მიუხედავად იმისა, რომ მე-XIX საუკუნის ბოლოს დაფუძნებული ამ მოძრაობის ფუნდამენტური საფუძვლები არსებითად ყველგან ერთნაირი იყო, მას ასევე თან ახლდა ადგილობრივი, ეროვნული სკოლების გაჩენა.

ისტორიულ სტილებთან შერწყმული არქიტექტურა უვარგისი აღმოჩნდა მრეწველობისა და ვაჭრობის მიერ წამოყენებული ახალი პრობლემების გადასაჭრელად: მეორეს მხრივ, ახალი მასალების, ტექნიკის, ტექნოლოგიების შემუშავება და გამოყენება წარმატებით მიმდინარეობდა თანამედროვე სამშენებლო პრაქტიკაში. ახალმა ტექნიკამ და ტექნოლოგიებმა შთააგონა არქიტექტორები, შეექმნათ ისეთი ნამუშევრები, რომლებიც

შესაბამებოდა თანამედროვეობის სულისკვეთებას. ლონდონის კრისტალ პალასის მშენებლობაში გამოყენებული იქნა ლითონი და მინა, რომელიც აშენდა 1851 წელს არქიტექტორ ჯოზეფ პაქსტონის მიერ. მანქანების გალერეა, რომელიც აშენდა პარიზში 1889 წლის მსოფლიო გამოფენაზე არქიტექტორების კოტანსენისა და დუტერის მიერ, სადაც ფიგურირებდა რკინის ჩარჩოს კონსტრუქცია და მინა. ცნობილი ეიფელის კოშკი, რომელიც გამოირჩეოდა 300 მეტრის სიმაღლის ფოლადის კონსტრუქციით.

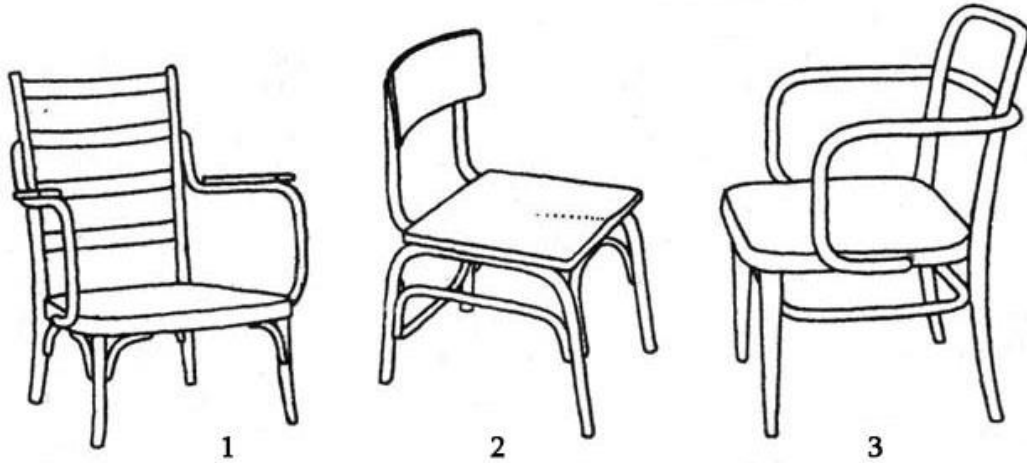
1884-1885 წლებში ჩიკაგოში აშენდა პირველი ცათამბჯენი არქიტექტორი ჯენი; 1889 წელს აშენდა პირველი კარკასული შენობები. ფრენკ ლოიდ რაიტმა შექმნა ახალი ტიპის საცხოვრებელი კორპუსი. 1903 წელს არქიტექტორმა ოგიუსტ პერემ პარიზში ააშენა პირველი საცხოვრებელი სახლი რკინაბეტონის კარკასით. ამ და სხვა მრავალი არქიტექტორების ძალისხმევით, ვითარდება ახალი სამშენებლო ტექნიკის ფორმირების ელემენტები. მნიშვნელოვანი გახდა ახალი მასალებისა და დიზაინის პრინციპების უახლესი მიდგომების შემუშავება.



ნახ. 44. 1 – სავარძელი საქანელა, 2 – სკამი მასიური წარმოებისთვის

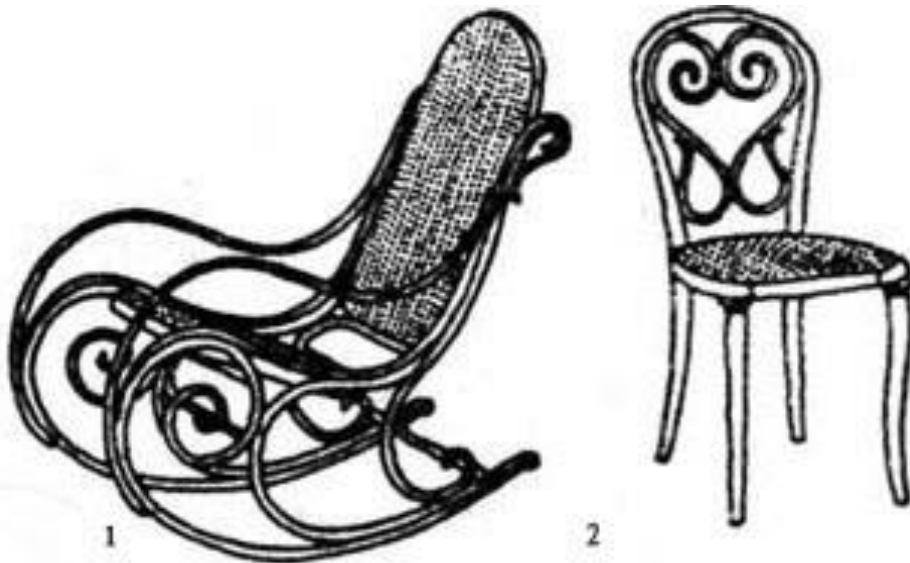
გრანდიოზული ამოცანის განხორციელების გზაზე: მნიშვნელოვანი გახდა ადამიანისთვის ერთიანი, ერთგვაროვანი საგნობრივი გარემოს შექმნა. ეპოქის უნიჭიერესი არქიტექტორები და დიზაინერები მთელ ძალისხმევას ანდომებენ ამ პრობლემის გადაჭრის გზების მოძიებას.

1901 წელს ვაიმარის სახვითი ხელოვნების სკოლაში ვან დე ველდემ მოაწყო „ექსპერიმენტული ხელოვნებისა და ინდუსტრიული სახელოსნოები“ რომლის საფუძველზედ მოგვიანებით დააარსდა ბაუჰაუსი (1919).



ნახ. 45. – სავარძელი, 2 – სკამი, 3 – სავარძელი

ცნობილმა ავეჯის ოსტატმა ტონეტმა მართლაც ეპოქალური წვლილი შეიტანა ავეჯის ბიზნესში: მან გამოიგონა გრეხილი ავეჯი, განავითარა მისი ტექნოლოგია და იყო პირველი, ვინც დაეუფლა იაფი პროდუქციის მასობრივ წარმოებას. ტონეტის საქმიანობა მიზნად ისახავდა გრეხვის ტექნიკის კიდევ უფრო გაუმჯობესებას. გრეხილი ავეჯის მასალა ძირითადად წიფელი იყო რომელსაც ცხელი ორთქლით ამუშავებდნენ.



ნახ. 46. 1 – გრეხილი სავარძელი, 2 – სკამი დაწნული დასაჯდომით ავტორი ტონეტი



თანამედროვე ავეჯისა და ინტერიერის დიზაინი მოიცავს არა მარტო დეკორირებას, არამედ სივრცის დაგეგმარებას, ავეჯისა და აქსესუარების მოხერხებულ განლაგებას, როგორც ყველა შემოქმედებითი პროფესია, ავეჯისა და ინტერიერის დიზაინერის პროფესიაც მოითხოვს სტილის შეგრძნებას, მრავალმხრივ წარმოსახვის უნარს, სისტემურ აზროვნებას, კარგ ინტუიციას. ერთის მხრივ სიტყვით დიზაინერის მიერ შექმნილი ავეჯი და ინტერიერი უნდა პასუხობდეს ესთეტიკურ და ფუნქციონალურ მოთხოვნებს. ის უნდა იყოს ორიენტირებული კომფორტზე, ფუნქციურობაზე და ეკოლოგიურად სუფთა მასალების გამოყენებაზე. ავეჯი უნდა იყოს ინტერიერის ორგანული ნაწილი, ის უნდა ექვემდებარებოდეს ერთიან არქიტექტურულ-მხატვრულ სტილს.

შემოთავაზებულია ჩემს მიერ დაპროექტებული თანამედროვე ავეჯისა და ინტერიერის დიზაინის რამოდენიმე ვარიანტი, სადაც სხვადასხვა სტილში გადაწყვეტილი ავეჯის მოცულობითი რთულპროფილიანი ელემენტები ჰარმონიულად არის შერწყმული თანამედროვე ფორმებთან და ქმნიან ერთიან, მთლიან მხატვრულ სახეს. ეს ნიმუშები კიდევ ერთხელ ხაზს უსვამენ და ცხადყოფენ ჩემი სადისერტაციო ნაშრომის აქტუალობას ავეჯის წარმოებაში.

## შედეგები და მათი განსჯა

### 2. უნივერსალური სახარატო-საფრეზი-საკოპირე ჩარხი

#### 2.1. ჩარხის მოდერნიზაციის დასაბუთება

უნივერსალური სახარატო-საფრეზი-საკოპირე ჩარხი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ავეჯის წარმოებაში, კერძოდ, მბრუნავი სხეულების ფორმის დეტალების დამუშავებისას.

მბრუნავი სხეულების ფორმის დეტალების დასამუშავებლად ცნობილია სახარატო ჩარხი [7], რომელიც შეიცავს სადგარს, მთავარი მოძრაობის ამძრავს, სუპორტს მჭრელი იარაღის დასამგრებლად, უკანა ვეგს. ასეთ ჩარხზე ხორციელდება მარტივი პროფილის, ანუ დეტალის ბრუნვის ღერძისადმი სიმეტრიული პროფილის მქონე ზედაპირის მიღება. მოყვანილ ჩარხზე ვერ ამუშავებენ ბრუნვის ღერძისადმი ასიმეტრიულ ზედაპირებს, რთულპროფილიანი და სპირალურ დეტალებს.

აღნიშნული ნაკლის აღმოსაფხვრელად შემოთავაზებულია ხის დასამუშავებელი ჩარხი, რომელიც შეიცავს სადგარს, მთავარი მოძრაობის ამძრავს, განივ სუპორტს. სუპორტზე მიმმართველებში თავისუფალი გადაადგილების შესაძლებლობით განთავსებულია საფრეზი თავი, რომელსაც აქვს ამძრავის მქონე შპინდელი, ბოლოვანი ფრეზის დასამგრებლად და, სულ მცირე, ერთი საკოპირე გორგოლაჭი, რომელიც მუდმივ კონტაქტშია სადგარის თავზე დამაგრებულ ორ საკოპირე გორგოლაჭთან, რომელთაგან ერთს აქვს ნაშადის ღერძისადმი კუთხით დაყენების და სადგარისადმი ფიქსირების შესაძლებლობა, ხოლო მეორე დაყენებულია სადგარზე განთავსებულ ცენტრში და მთავარი მოძრაობის ამძრავთან კინემატიკური კავშირის მეშვეობით გააჩნია ბრუნვის შესაძლებლობა, კინემატიკური კავშირი, მაგალითად, შესაძლოა იყოს შესრულებული ჯაჭვური გადაცემით. გორგოლაჭების მუდმივი კონტაქტი კოპირებთან ხორციელდება ტვირთის ძალით, რომელიც კოპირების მხრიდან ჩამოკიდებულია საფრეზ თავზე.

მოდერნიზაციის ტექნიკური შედეგია ჩარხის ტექნოლოგიური შესაძლებლობის გაფართოება, რთული პროფილის მქონე დეტალების დამუშავების შესაძლებლობა, დამუშავების ხარისხის და სიზუსტის გაზრდა.

## 2.2. ჩარხის მოდერნიზაციის მიზანი

ჩარხის მოდერნიზაციის მიზანია ტექნოლოგიური შესაძლებლობების გაფართოება, დამუშავების ტექნოლოგიური დროის შემცირება და დამუშავებული ზედაპირის სისუფთავის ამაღლება.

დასახული მიზანი მიიღწევა ცნობილი ჩარხის (ნახ. 48) დამატებითი საკოპირე მოწყობილობის აღჭურვით, ბოლოვანა ფრეზის დისკური ფრეზით შეცვლით და კომბინირებული დამუშავების გამოყენებით, კერძოდ ზედაპირის ერთდროული დისკური ფრეზით და ხეხვით.

ჩარხი წარმოდგენილია 3 ფიგურით, სადაც ნახ. 47-ზე ნაჩვენებია ჩარხის წინა ხედი. ნახ. 48-ზე – ზედა ხედი, ხოლო ნახ. 49 ა, ბ-ზე მოდერნიზებული კვანძი.

ჩარხი შეიცავს სადგარს 1, მთავარი მოძრაობის ამძრავს 2, რომელიც სოლურ-ღვედური გადაცემით 3 დაკავშირებულია შპინდელთან 4, სადგარზე 1 დაყენებულია გამყოფი თავი 5, უკანა ვეგი 6 და განივი სუპორტი 7 აღჭურვილია სახელურით 8, სუპორტის მიმმართველებში თავისუფალი გადაადგილების შესაძლებლობით განთავსებულია საფრეზ-სახეხი თავი 9, აღჭურვილი ბოლოვანა ფრეზის ამძრავით 10, დისკური ფრეზით და სახეხი იარაღით 12.

საფრეზ-სახეხი თავზე 9 უძრავად დამაგრებულია საკოპირე გორგოლაჭი 13, რომელიც მუდმივ კონტაქტშია ბრუნვის შესაძლებლობის მქონე კოპირთან 14. ეს უკანასკნელი დაყენებულია სადგარზე 1 დამაგრებულ ცენტრში 15 და ჯაჭვური გადაცემის 16 მეშვეობით დაკავშირებულია შპინდელთან 4. სადგარზე დაყენებულია აგრეთვე თამასა 17, რომელსაც გააჩნია დასამუშავებელი დეტალის ღერძისადმი კუთხით დაყენების და სადგარზე ფიქსირების შესაძლებლობა. თამასაზე 17 დაყენებულია კოპირი

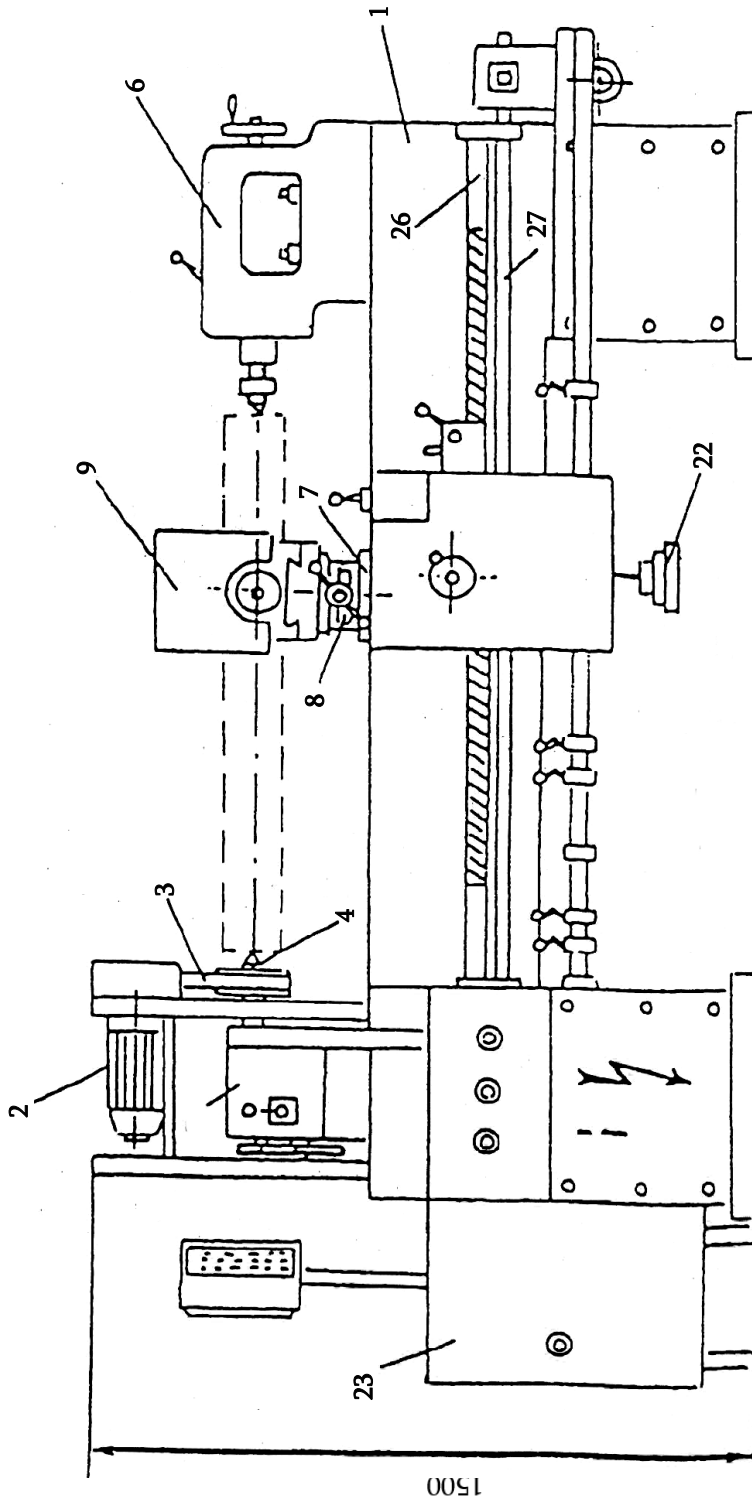
18, რომელთანაც მუდმივ კონტაქტშია საფრეზავი თავის კილოში 19 მოთავსებული გორგოლაჭი 20, რომელსაც გააჩნია კილოში 19 გადაადგილების და ფიქსატორის 21 მეშვეობით ფიქსაციის შესაძლებლობა. გორგოლაჭების 13 და 20 კოპირებთან 14 და 18 მუდმივი კონტაქტი ხორციელდება კოპირების მხრიდან საფრეზ თავთან ჩამოკიდებული ტვირთის 22 წონით. სადგარზე განლაგებულია მიწოდების კოლოფი 23, ჭია რედუქტორი 24 ელექტროძრავით 25, სავალი ხრახნი 26 და სავალი ლილვი 27, რომელთა მეშვეობით ხორციელდება სუპორტის 26 გრძივი გადაადგილება.

ჩარხის ექსპლოატაცია ხორციელდება შემდეგნაირად:

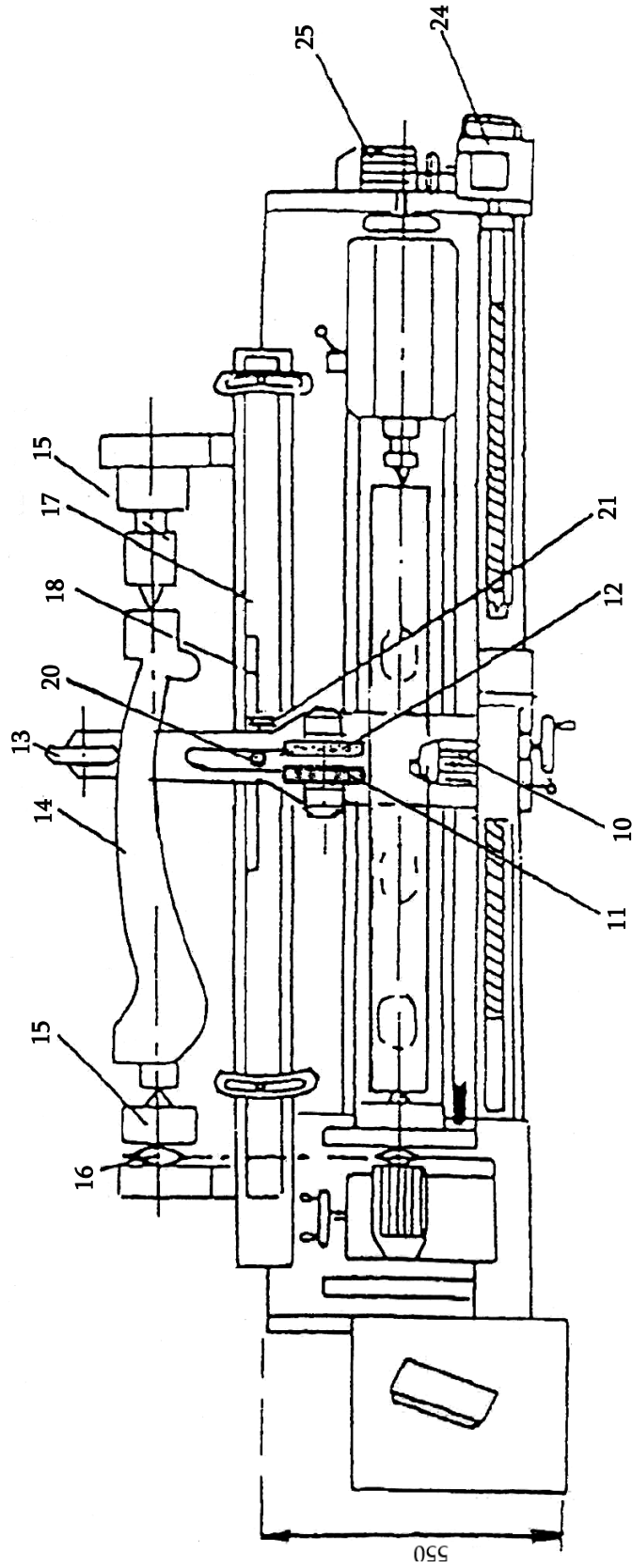
კონუსური ზედაპირის მისაღებად თამასას 17 და, შესაბამისად, მასზე დამაგრებულ კოპირს 18 აყენებენ განსაზღვრული კუთხით და ახორციელებენ სუპორტის 7 გრძივ გადაადგილებას.

ნამზადის ღერძის მიმართ არასიმეტრიული დეტალების, მოცულობითი, ბარელიეფური, მაგიდების ან სკამების ფეხების დასამუშავებლად იყენებენ ცენტრებში 15 ჯაჭვური გადაცემის 16 მეშვეობით მბრუნავ კოპირს 14 და სუპორტის 7 განივ გადაადგილებას.

### 2.3. ჩარხის კონსტრუქციული სქემა

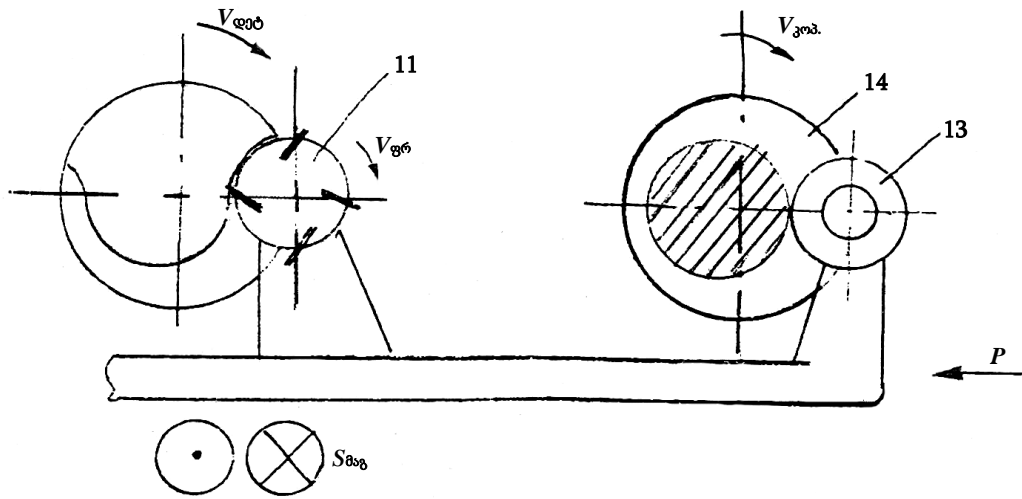


ნახ. 47. ჩარხის კონსტრუქციული სქემა  
 ჩარხის წინხედი  
 საქ. პატენტი № 3380, 25.11.2004. ზ. ჩიტბე, ი.

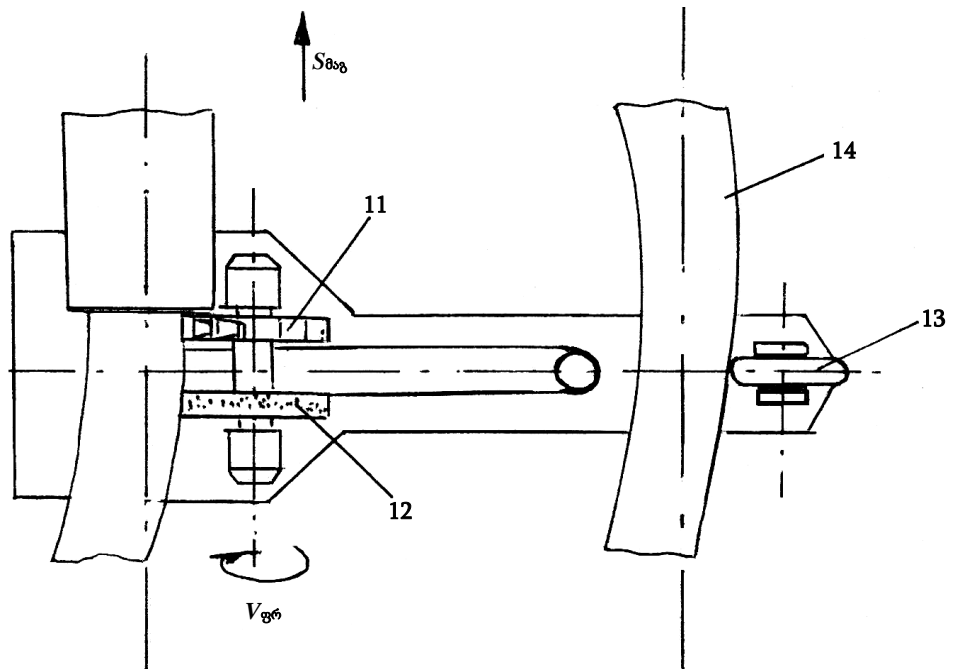


ნახ. 2. ჩარხის ზედხედი  
 საქ. პატენტი № 3380, 25.11.2004. ზ. ჩიტოძე, ი. გელაშვილი

2.4. ჩარხის მოდერნიზებული კვანძის სქემა



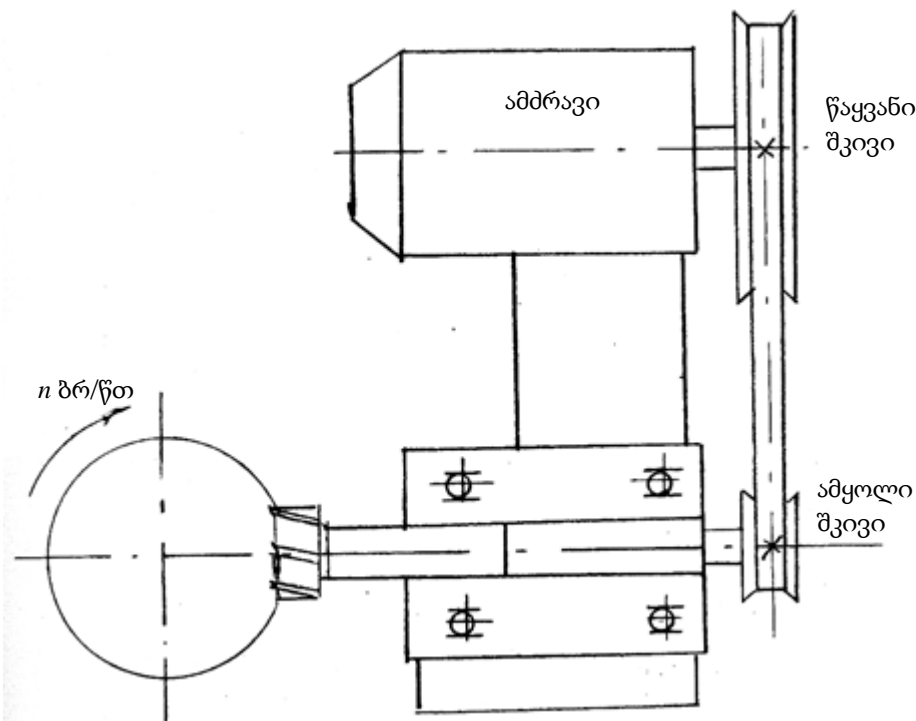
ნახ. 49, ა - მოდერნიზებული კვანძის წინხედი



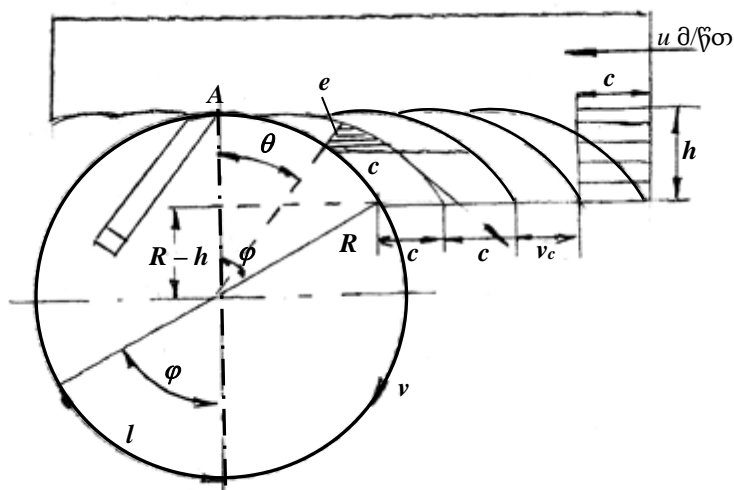
ნახ. 49, ბ - მოდერნიზებული კვანძის ზედახედი

## 2.5. მოდერნიზებული კვანძის გაანგარიშება

### 1. საანგარიშო სქემა



ნახ. 50. კვანძის კონსტრუქცია



ნახ. 51. ჭრის სქემა

$R$  – რადიალური ძალა;  $\theta$  კინემატიკური შეხვედრის კუთხე,  $e$  – ბურბუშუმელის სისქე  
 $V$  – ჭრის სიჩქარე;  $u$  – მიწოდების სიჩქარე.  $\varphi$  – ჭრის კონტაქტის კუთხე;  
 $C$  – მიწოდება ერთ კბილზე;  $n$  – ბრუნთა რიცხვი.



## 2.6. პირდაპირი ამოცანა

საწყისი მონაცემები:

1.  $U = 3$  მ/წთ ..... მიწოდების სიჩქარე
2.  $D_{ფრ} = 60$  მმ ..... ფრეზის დიამეტრი
3.  $n = 6000$  ბრ/რ ..... ბრუნთა რიცხვი
4.  $Z = 2$  ..... კბილთა რიცხვი
5.  $\delta = 60^\circ$  ..... ჭრის კუთხე
6.  $\alpha = 15^\circ$  ..... უკანა კუთხე
7.  $h = 4$  მმ ..... ჭრის სიღრმე

### ჭრის სიჩქარე

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60000} = \frac{3,14 \cdot 60 \cdot 6000}{60000} = 18,9 \text{ მ/წმ.}$$

განისაზღვროს ჭრის სიმძლავრე  $N$  და ყველა ძალური პარამეტრი ამოხსნა

1. მე-7 ნახაზიდან ვპოულობთ მასშტაბს [1]

$$M = \frac{500}{D_{ფრ}} = \frac{500}{60} = 8,3, \quad \angle \varphi = 30^\circ.$$

კონტაქტის, კონტურის რკალის სიგრძე

$$l = 0,175R \cdot \varphi = 0,175 \frac{60}{2} \cdot 30^\circ = 16 \text{ მმ.}$$

ბურბუმელის საშუალო სისქე

$$e_{ს.შ} = \frac{c \cdot h}{l} = \frac{0,25 \cdot 4}{16} = 0,063 \text{ მმ}$$

სადაც მიწოდებაზე ერთ ჭრაზე  $C = U_z$

$$C = \frac{1000 \cdot U}{z \cdot n} = \frac{1000 \cdot 3}{2 \cdot 6000} = 0,25 \text{ მმ,}$$

ხოლო კინემატიკური შეხვედრის კუთხე

$$\sin \theta = \frac{h}{l} = \frac{4}{16} = 0,25,$$

$$\theta = 15^\circ.$$

მე-7 ნახაზიდან [1]  $\cos \theta = 0,86$ .

2. როდესაც  $\psi = 15^\circ$  მე-9 ნომოგრამიდან უკანა წახნაგზე მოქმედი  $P$  კუთრი ძალა შეადგენს

$$P = 0,3 \text{ კგ/მმ}.$$

მე-10 ნახაზიდან კი

$$A = 0,037; \quad B = 0,013.$$

მე-11 ნახაზიდან [1]  $B = -1,1$ .

საერთო კუთრი წინაღობა (წნევა)

$$\begin{aligned} K &= A \cdot \delta + B(90 - V) - B = \\ &= 0,037 \cdot 60 + 0,013 \cdot (90 - 18,9) - 1,1 = 0,2 \text{ კგ/მმ}^2. \end{aligned}$$

3. ბასრი საჭრისის დაბლაგვის ნამატი ჭრის სიგრძეზე  $T$  წუთში

$$\Delta \rho = \frac{0,0008 \cdot n \cdot l \cdot T}{1000} = \frac{0,0008 \cdot 6000 \cdot 16 \cdot 160}{1000} = 12,3 \text{ მკმ}.$$

დაბლაგვის კოეფიციენტი

$$a_p = 1 + \frac{0,2 \cdot \Delta \rho}{P_s} = 1 + \frac{0,2 \cdot 12,3}{4} = 1,62.$$

4. საერთო კუთრი წინაღობა (წნევა)

$$K = k + \frac{a_p \cdot P}{e} = 0,2 + \frac{1,62 \cdot 0,3}{0,063} = 7,9 \text{ კგ/მმ}^2.$$

ჭრის სიმძლავრე

$$N = \frac{K \cdot b \cdot h \cdot U}{60 \cdot 120} = \frac{7,9 \cdot 60 \cdot 4 \cdot 3}{60 \cdot 120} = 1,33 \text{ ტ}.$$

5. საერთო ჭრის ძალა

$$P = \frac{N \cdot 102}{V} = \frac{102 \cdot 1}{18,9} = 5,4 \text{ კგ}.$$

მივიღოთ

$N_{\text{ტრ}} = 1,8 \text{ კვტ}$  – ელექტროძრავის სიმძლავრე;

$n_{\text{ტრ}} = 3000 \text{ ბრ/წთ}$  – ელექტროძრავის ბრუნთა სიხშირე.

## 2.7. შებრუნებული ამოცანა

საწყისი მონაცემები:

1.  $N = 2$  კვტ – სიმძლავრე
2.  $n = 6000$  ბრ/წთ – ფრეზის ბრუნთა სიხშირე
3.  $D_{ფრ} = 60$  მმ – ფრეზის დიამეტრი
4. ჭრის სიჩქარე

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60000} = \frac{3,14 \cdot 60 \cdot 6000}{60000} = 18,9 \approx 19 \text{ მ/წმ.}$$

5.  $z = 2$  – კბილთა რიცხვი
6.  $\angle \delta = 60^\circ$  ჭრის კუთხე
7.  $h = 4$  მმ – ჭრის სიღრმე.

### ამოხსნა

კინემატიკური შეხვედრის კუთხე

$$1. \sin \theta = \sqrt{\frac{h}{D}} = \sqrt{\frac{4}{60}} = 0,258.$$

$$\theta = 15^\circ \quad \cos \theta = \cos 15^\circ = 0,97$$

$$M = \frac{500}{D} = \frac{500}{60} = 8,3$$

$$M \cdot h = 8,3 \cdot 4 = 33 \text{ მმ.}$$

რაც შეესაბამება ნომოგრამაზე კონტაქტის კუთხე  $\varphi = 30^\circ$ .

ჭრის რკალის სიგრძე

$$l = 0,0175 \cdot R \cdot h = 0,0175 \cdot \frac{60}{2} \cdot 30^\circ = 16 \text{ მმ.}$$

$$\theta = 15^\circ. \quad \cos \theta = 0,97$$

$$2. \text{ დაბლაგვის ნაზრდი } \Delta p = \varepsilon \frac{l \cdot n \cdot T}{1000}$$

სადაც სამუშაო დრო

$$T = \eta_{ს.დ.} \cdot \eta_{საღ.დ.} \cdot 3,5 \cdot 60 = 130 \text{ წთ.}$$

$$\Delta p = \frac{16 \cdot 6000 \cdot 130}{1000} \cdot 0,0008 = 10 \text{ მკ.}$$

დაბლაგვის კოეფიციენტი

$$a_p = 1 + \frac{0,20 \cdot \Delta p}{P_\delta} = 1 + \frac{0,2 \cdot 10}{4} = 1,15.$$

3. ნახ. 9, 10, 11 [1] ვპოულობთ  $\psi = 15^\circ$

$$A = 0,037 \quad B = 0,013 \quad B = 1,1$$

კუთრი წინაღობა (წნევა)

$$K = 0,037 \cdot 60 + 0,013 \cdot (90 - 19) = 0,2 \text{ კგ/მ}^2.$$

4. ვიცით  $p$ ;  $K$ ;  $\sin\theta$ ;  $a_p$ .

მიწოდება ჭრაზე:

$$C_N = \frac{6 \cdot 10^6 \cdot N \cdot a_p \cdot p \cdot b}{h \cdot z \cdot n \cdot \sin\theta} = \frac{6 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 1,5 \cdot 0,3 \cdot 20}{4 \cdot 2 \cdot 6000 \cdot 0,26} = 5,4 \text{ მმ.}$$

განვსაზღვროთ მიწოდების სიჩქარე

$$U = \frac{5,4 \cdot 2 \cdot 6000}{1000} = 6,5 \text{ მ/წთ}$$

5. ტალღის სიგრძე

$$c_\delta = z \cdot c = 2 \cdot 5,4 = 10,8 \text{ მმ.}$$

ეს შეესაბამება [1] ცხრილის მიხედვით უმაღლესი სისუფთავის კლასს.

## 2.8. კვანძის ძალოვანი გაანგარიშება

საღვედე ბორბლების გაანგარიშება

მოცემულია:  $N_{\text{ძრ}} = 1,8$  კვტ;  $n_{\text{ძრ}} = 3000$  ბრ/წთ.

1. მგრეხავი მომენტი ელ. ძრავას ლილვზე:

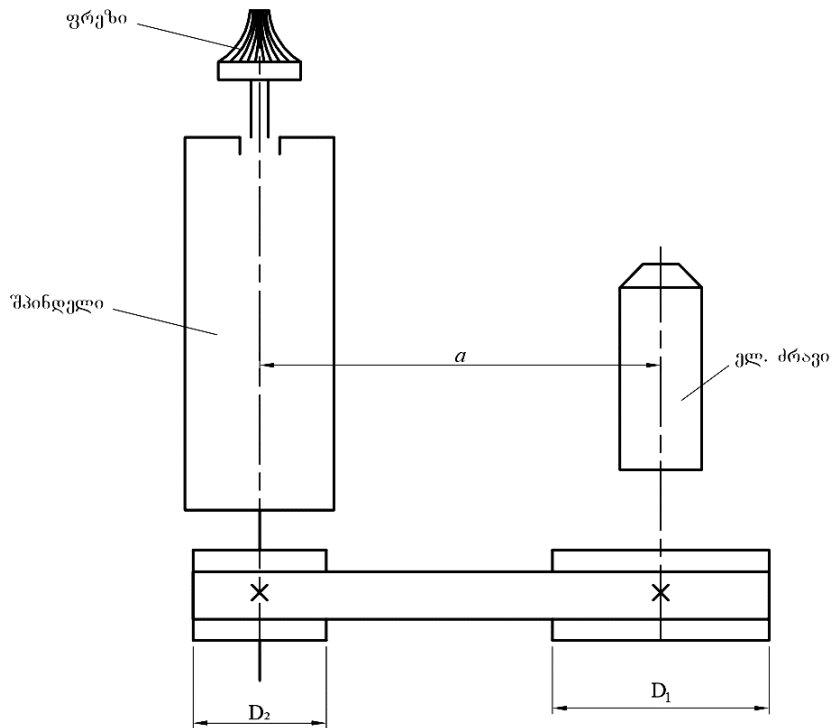
$$T_1 = \frac{N_{\text{ძრ}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{ძრ}}} = \frac{1,8 \cdot 10^3}{314} = 5,73 \text{ წმ,}$$

სადაც

$$\omega_{\text{ძრ}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{ძრ}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 4000}{30} = 314 \text{ რად/წმ.}$$

2. საერთო მარგი ქმედების კოეფიციენტი:

$$\eta = \eta_{\text{ღვ.}} \cdot \eta_{\text{ს.ს.}}^2 = 0,96 \cdot 0,99^2 = 0,94.$$



ნახ. 52. კვანძის საანგარიშო სქემა

3. წამყვანი ბორბლის დიამეტრი:

$$D_1 = 1150 \div 1350 \sqrt[3]{\frac{P_{\text{ძრ.}}}{n_{\text{ძრ.}}}} = 1150 \div 1850.$$

გოსტ 17383 დახ. ავილოთ  $D_2 = 140$  მმ.

4. მიმყოლი ბორბლის დიამეტრი:  $D_2 = D_1 \cdot u \cdot \eta_{\text{ღ.}}$   $= 140 \cdot 0,5 \cdot 0,96 = 67,2$  მმ.

გოსტ 17383-73 დან მივილოთ  $D_2 = 70$  მმ.

5. ღვედური გადაცემის ფაქტიური გადაცემის რიცხვი:

$$U_{\text{ღ.}} = \frac{D_2}{D_1 \cdot \eta_{\text{ღ.}}} = \frac{70}{140 \cdot 0,96} = 0,52.$$

6. მიმყოლი ლილვის ბრუნთა რიცხვი

$$n_2 = n_1 / U_{\text{ღ.}} = 3000 / 0,52 = 5769,2 \text{ ბრ/წთ} \approx 6000 \text{ ბრ/წთ.}$$

7. ლილვის სიჩქარე:

$$V = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n_2}{60} = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 6000}{60 \cdot 1000} = 22,0 \text{ მ/წმ.}$$

8. ცენტრთაშორის მანძილი:

$$a = (1,5 \div 2) (D_1 + D_2) = (1,5 \div 2) (0,14 + 0,07) = 0,315 \div 0,42.$$

მივილოთ  $a_1 = 350$  მმ.

9. ღვედის სიგრძე:

$$L = 2a + \frac{\pi}{2}(D_1 + D_2) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4a} = 2 \cdot 0,35 + \frac{3,14}{2}(0,07 + 0,14) + 0,0049/(4 \cdot 0,35) = 0,7 + 0,33 + 0,0035 = 1,04 \text{ მ.}$$

10. უმცირესი ბორბალზე შემოხვევის კუთხე;

$$\alpha = 180^\circ - \frac{D_1 - D_2}{a} \cdot 60^\circ = 180^\circ - \frac{140 - 70}{350} \cdot 60^\circ = 168^\circ 00'.$$

11. ღვედის განივკვეთის საჭირო ფართი:

$$S = b \cdot s = \frac{F_t}{[K_0] \cdot C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3} = \frac{8,3}{22,5 \cdot 0,92 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,8} \approx 0,70 \text{ სმ.}$$

12. წრიული ძალა:

$$F_t = \frac{102 \cdot P}{V} = \frac{102 \cdot 1,8}{22} = 8,3 \text{ კგძ.}$$

## 2.9. ჩარხის მწარმოებლობა

მწარმოებლობა განისაზღვრება დროის ერთეულში ჩარხზე გამომუშავებული პროდუქციის რაოდენობით

$$Q_{\text{მწ}} = \frac{T \cdot K \cdot i}{t} \text{ ცალი,}$$

სადაც  $T$  არის სამუშაო დროის ხანგრძლივობა, წთ;

$K$  – ჩარხის გამოყენების კოეფიციენტი;

$i$  – ერთდროულად დამუშავებული დეტალის რაოდენობა

$$K = \frac{t}{t + t_{\text{დამხ.}}}$$

$t_d$  – ძირითადი ტექნოლოგიური დამუშავების ხანგრძლივობა, წთ;

$t_{\text{დამხ.}}$  – დამხმარე დრო, წთ

$$t_d = \frac{\ell}{U} \text{ წთ.}$$

$\ell$  – არის დასამუშავებელი დეტალის სიგრძე, მ;

$U$  – მიწოდების სიჩქარე; მ/წთ

მრავალღარიანი დამუშავებისას

$$t = \frac{\ell \cdot n}{U} \text{ წთ,}$$

სადაც  $n$  – ღარების რაოდენობაა.

$$t_{\text{ც}} = t + t_{\text{დამხ.}} \text{ წთ.}$$

განვიხილოთ უნივერსალური სახარატო-საფრეზი-საკოპირე ჩარხის მწარმოებლობა შემდეგი მონაცემების საფუძველზე

$\ell = 0,7$  მ – ჭრის სიგრძე

$U = 3$  მ/წთ – მიწოდების სიჩქარე

$n = 8$  – დასამუშავებელი ღარების რაოდენობა

$t_{\text{დამხ.}} = 0,8$  წთ – დამხმარე დრო

$T = 420$  წ. – დღიური სამუშაო პერიოდი.

დამუშავების ძირითადი ტექნოლოგიური დრო შეადგენს:

$$t_{\text{დ}} = \frac{\ell \cdot n}{U} = \frac{0,7 \cdot 8}{3} = 1,97 \text{ წთ.}$$

[6]-ს მიხედვით ვადგენთ დამხმარე დროს

$$T_{\text{დამხ.}} = 0,8 \text{ წთ.}$$

მაშინ საცალო დროს შეადგენს

$$t_{\text{საც.}} = t_{\text{დ}} + t_{\text{დამხ.}} = 1,87 + 0,8 = 2,67 \text{ წთ.}$$

განსაზღვროთ ჩარხის გამოყენების კოეფიციენტი:

$$K = \frac{t_{\text{დ}}}{t_{\text{დ}} + t_{\text{დამხ.}}} = \frac{1,87}{1,87 + 0,8} = 0,7.$$

მაშასადამე ჩარხის მწარმოებლობა შეადგენს საშუალო დღის პერიოდზე:

$$Q_{\text{მწ.}} = \frac{T \cdot K \cdot i}{t_{\text{საც.}}} = \frac{420 \cdot 0,7 \cdot 1}{2,67} \approx 110 \text{ ცალი.}$$

$Q_{\text{მწ.}} \approx 110$  ცალი.

### 3. მერქანმჭრელი ინსტრუმენტის ცვეთამედეგობის კვლევა

თანამედროვე მერქანმჭრელი ინსტრუმენტი უნდა გამოირჩეოდეს საიმედოობის და ხანგამძლეობის მაღალი მაჩვენებლებით, ანუ დროის მაქსიმალურ ფარგლებში უნდა ინარჩუნებდეს თავისი მჭრელ შესაძლებლობებს ცვეთის მინიმუმის პირობებში. ამიტომ ცვეთამედეგი მერქანმჭრელი ინსტრუმენტის შექმნა წარმოადგენს ერთ-ერთ აქტუალურ საკითხს.

ბოლო წლების კვლევებით დადგინდა, რომ მერქანმჭრელი ინსტრუმენტის დაბლაგვის ხარისხი და ხასიათი დამოკიდებულია უამრავ მოვლენაზე, რომლებიც წარმოიქმნება ჭრის ზონაში. ჭრის პირობებიდან გამომდინარე შესაძლებელია მოხდეს მჭრელი ელემენტების ჟანგვა, ელექტროქიმიური და ეროზიული დაშლა და ა.შ. მაშასადამე მერქანმჭრელი ინსტრუმენტის ცვეთამედეგობის კვლევები მიმართული უნდა იყოს ცვეთის ფიზიკური არსის შესწავლაზე.

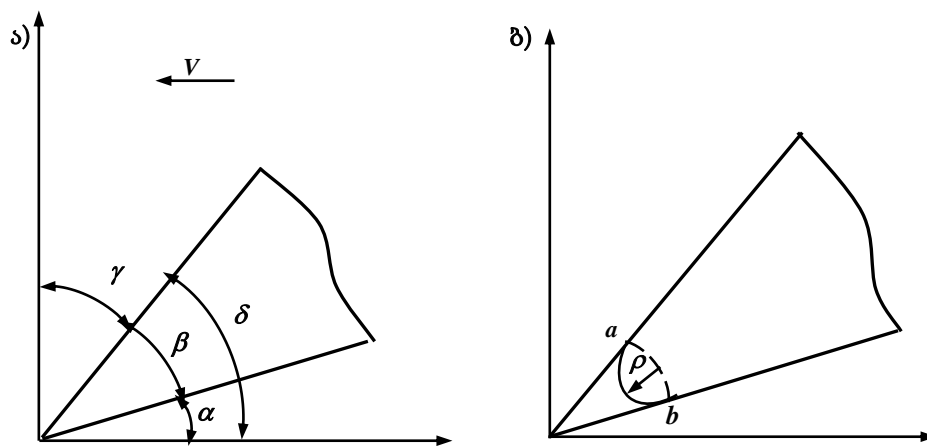
#### 3.1. საჭრისი და მჭრელი პირის მიკროგეომეტრია

ნაკეთობის გარკვეული ფორმის და ზომის მიღება ხორციელდება მჭრელი ინსტრუმენტით ბურბუშელის ჩამოჭრით. მაშასადამე, ბურბუშელის წარმოქმნის პროცესზე, ჭრის ძალებზე და დამუშავების ხარისხზე დიდ გავლენას ახდენს მჭრელი იარაღის გეომეტრიული პარამეტრები: ჭრის კუთხე  $\delta$ , უკანა კუთხე  $\alpha$ , ალესვის კუთხე  $\beta$  და წინა კუთხე  $\gamma$ .

მერქნის დამუშავების პროცესი მჭრელი ინსტრუმენტით ძალზე რთულია და დამოკიდებულია უამრავ ფაქტორზე, რომლებიც ახდენენ გავლენას ჭრის პროცესზე, მათ შორის: დასამუშავებელი მასალის (მერქნის) ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები, ტენიანობა, ბურბუშელის სისქე, ჭრის მიმართულება მერქნის ბოჭკოების მიმართ, ჭრის სიჩქარე, ჭრის რეჟიმები, დამუშავების ხარისხი, საჭრისის გეომეტრია და ა.შ. უამრავი ფაქტორის გათვალისწინებით ზუსტდება საჭრისის კუთხური პარამეტრები. მაგრამ



უმთავრესი, რაც ახასიათებს საჭრის როგორც ინსტრუმენტს არის მჭრელი წახნაგები, რომლებიც ასრულებენ ჭრის პროცესის ძირითად მუშაობას, ამიტომ მთავარ მჭრელ წახნაგთან იქმნება დამაბვის კონცენტრაცია, ხდება ბურბუშელის მოცილება დასამუშავებელ მერქნიდან (ნახ. 53, ა) ნაჩვენებია აბსოლუტურად მახვილი (იდეალური) საჭრისი, მაგრამ რეალურ საჭრის შეუძლებელია ჰქონდეს ასეთი მჭრელი პირი. კარგად მომზადებულ საჭრისსაც მჭრელი პირი მომრგვალებულია გარკვეული რადიუსით  $\rho$ , რომელიც აკავშირებს საჭრისის წინა და უკანა ზედაპირებს (ნახ. 53, ბ).



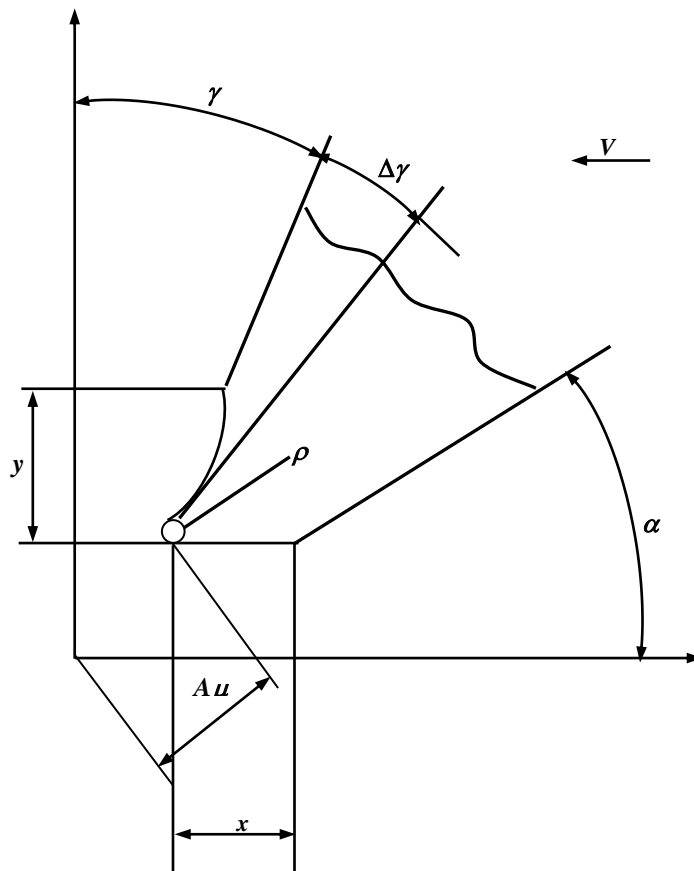
ნახ. 53. ინსტრუმენტის მჭრელი ნაწილის პროფილი:  
 ა – აბსოლუტურად მახვილი (იდეალური) საჭრისი;  
 ბ – გაცვეთილი

მჭრელი ინსტრუმენტი, რომელიც ახორციელებს ბურბუშელის შემოჭრას, თვითონაც განიცდის ცვეთას დასამუშავებელი მასალისაგან ზემოქმედებით. ცვეთა წარმოადგენს ხახუნს საჭრისის მჭრელი ზედაპირების და დასამუშავებელი ზედაპირებისა, რის შედეგად ხდება მეტალის მოცილება საჭრისის ზედაპირებიდან, და საბოლოოდ მჭრელი თვისებების გაუარესება.

მჭრელი ინსტრუმენტის ჭრის შესაძლებლობის გაუარესება ხასიათდება, როგორც მჭრელი ელემენტების ცვეთით აგრეთვე მთავარი მჭრელი პირის მიკროგეომეტრიის ცვლილებით. თანამედროვე მჭრელი ინსტრუმენტი უნდა ხასიათდებოდეს საიმედოობის და ხანგამძლეობის მაღალი მაჩვენებლებით, აგრეთვე ის უნდა ინარჩუნებდეს სათანადო მახვილობას და მჭრელი ელემენტების მინიმალურ ცვეთას დროის მაქსიმალურ პერიოდში.

და რაც უფრო რთული და ხანგრძლივია გაცვეთილი ინსტრუმენტის შეცვლის პროცესი მით უფრო მაღალი უნდა იყოს ეს მაჩვენებლები. ამ მაჩვენებლებით ხასიათდება ინსტრუმენტის ცვეთამედეგობა.

მთავარი მჭრელი პირის მიკროგეომეტრიის ცვლილება, რასაც იწვევს საჭრისის დაბლაგვა, მიღებულია შევსებით ე.წ. დაბლაგვის მრუდით. ეს მრუდები ხასიათდება ზოგიერთი პარამეტრებით. ნახ. 54 ნაჩვენებია საჭრისის დაბლაგვის პარამეტრები  $x$ ,  $\rho$ ,  $\Delta\gamma$  და  $A\mu$ , რომლებიც უფრო ხშირად გამოიყენება კვლევებში.



ნახ. 54. საჭრისის დაბლაგვის პარამეტრები:

$\rho$  – დაბლაგვის რადიუსი;  $y$  – დაბლაგვის ორდინატა;  $x$  – დაბლაგვის აბსცისა;  $A\mu$  – ცვეთა ბისექტრისით;  $\Delta\gamma$  – წინა კუთხის გაზომვა

### 3.2. მჭრელი ინსტრუმენტის ცვეთამედეგობის განსაზღვრა

ცვეთამედეგობა – ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი თვისებაა მერქანმჭრელი იარაღის, რათა მასზეა დამოკიდებული დამუშავების როგორც მწარმოებლურობა ასევე დამუშავების ეკონომიურობა. ჭრის რეჟიმების

რაციონალური პარამეტრების შერჩევას მერქანმჭრელი იარაღის ცვეთამდეგობა არის ძირითად ფაქტორად გასათვალისწინებელი.

მერქანმჭრელი იარაღების წარმოებაში საიარაღო მასალად გამოიყენება თერმულად დამუშავებული ნახშირბადოვანი, ლეგირებული და სწრაფმჭრელი ფოლადები შემდეგი მარკების Y8A; Y10A; XBF; X6BΦ; 8XHΦT; 9X5BΦ; P12Φ3; P6M5 და სხვა), რომლებისაგან მზადდება ხერხები, ფრეზები და ბურღები ფართო ასორტიმენტით.

ბოლო პერიოდში, როგორც მშენებლობა აგრეთვე ავეჯის წარმოებაში მასალად იყენებენ ძნელად დასამუშავებელ მერქნულ მასალებს, მათ შორის არის მერქანბურბუმელოვანი, მერქანბოჭკოვანი, მერქანდისპერიული და მერქანპოლიმერული მასალები. ზემოაღნიშნული მასალები ხასიათდება მაღალი სიმტკიცით და სიმკვრივით. გარდა ამისა მათ შემცველობაში შედის წებოვანი მასალები, რაც იწვევს ინტენსიურ ცვეთას მერქანმჭრელ ინსტრუმენტებში.

ამიტომ ასეთი მასალების დამუშავება ფოლადის თერმულად დამუშავებულ ინსტრუმენტებით არ არის გამართლებული, რათა ახლად ალესილი სწრაფად ცვდება და მოითხოვს ხელახლა გადალესვას. ზემოაღნიშნულთან დაკავშირებულ მერქნულ მასალების დასამუშავებლად სულ უფრო ფართოდ იყენებენ BK20; BK15; BK8; BK6 და სხვა სალიმენადნობის ფირფიტებს.

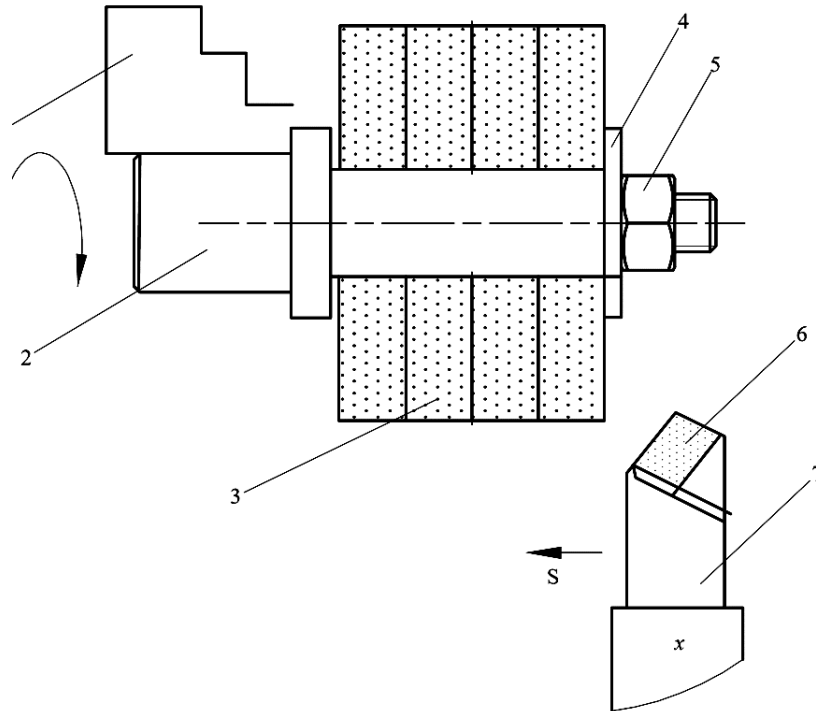
მაშასადამე BK ტიპის სალიმენადნობის იარაღებს თუ გამოვიყენებთ აუცილებელია ვიცოდეთ მათი ცვეთამდეგობის პარამეტრები.

კონკრეტულად გადაწყვიტეთ ჩავატაროთ შედრებითი ექსპერიმენტები ცვეთამდეგობაზე BK20 ტიპის სალიმენადნობიანი სახარატო საჭრისის მერქანბურბუმელოვანი მასალის ახარატებაზე ერთი მხრივ დაუფარავად, ხოლო მეორე მხრივ TiN (ტიტანის ნიტრიდით დაფარული 5 და 10 მკმ-ით).

ექსპერიმენტებს ვატარებდი სახარატოხრახნსაჭრელ ჩარხებზე 16 K20.

პირველ ეტაპზე მოვამზადეთ დასამუშავებელი მასალა: მზგ – მერქანბურბუმელოვანი ფილები და მერქანკომპოზიციური, რათა ვიხილავთ

ხარატების ჭრის პროცესს, ამიტომ მოვამზადეთ სპეციალური სამარჯვი რომელშიც ვათავსებთ ასახარატებელ მასალას.



ნახ. 55. იარაღის ცვეთა მედეგობაზე ექსპერიმენტების ჩასატარებელი ხელსაწყოები:

- 1 – სამმუშტოვანი თვითმაცენტრებელი ვაზნა; 2 – დასამუშავებელი მასალის დამაგროვებელი ლილვი 3 – დასამუშავებელი მასალები (მზგ); 4 – საყელური; 5 – მომჭერი ქანჩი; 6 – სალშენადნობიანი საცდელი ფირფიტა BK 20; 7 – სახარატო საჭრისის კორპუსი.

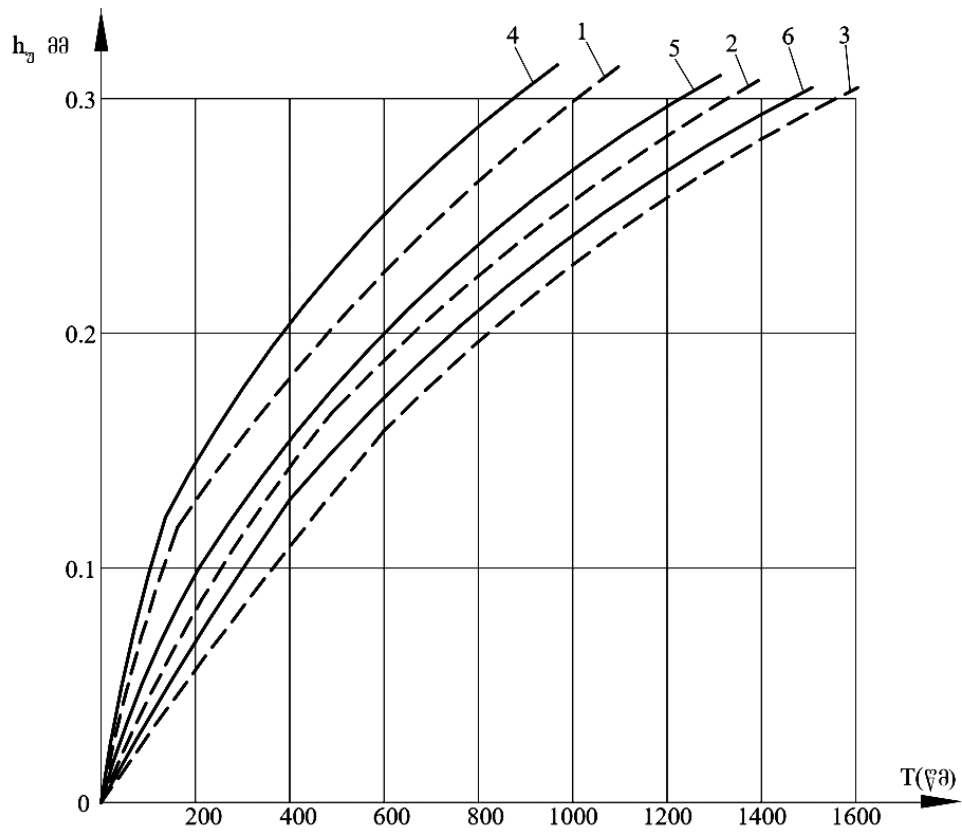
ცვეთის კრიტერიუმად მიღებული გვაქვს ცვეთა საჭრისის უკანა წახნაგზე  $h_{\text{კ}} = 0,3$  მმ.

ექსპერიმენტებს ვატარებთ დაუფარავ და ნიტრიდის ტიტანით დაფარულ სალიშენადნობიან BK 20 ტიპის საჭრისებზე.

დასამუშავებელ მასალად ავირჩიეთ ერთი მხრივ მერქანბურბუმელოვანი ფილები, ხოლო მეორე მხრივ MDF ექსპერიმენტებს ვატარებდით შემდეგი ჭრის რეჟიმებზე:

1. ჭრის სიღრმე  $t = 1$  მმ;
2. მიწოდება ერთ ბრუნზე  $S_0 = 0,25$  მმ/ბრ.
3. შპინდელის ბრუნთა სიხშირე  $n = 1200$  ბრ/წთ.

სულ ჩავატარეთ 6 ექსპერიმენტი: 3 ექსპერიმენტი მზგ – მერქანბურბუმელოვან ფილებზე და 3 ექსპერიმენტი MDF-ზე.



ნახ. 56. ცვეთამედეგობაზე ჩატარებული ექსპერიმენტების გრაფიკები.

- 1 – BK 20 – მზღ დაფარვის გარეშე; 2 – BK 20 + TiN (5 მკმ) – მზღ;  
 3 – BK 20 + TiN (20 მკმ) – მზღ; 4 – BK 20 – MDF დაფარვის გარეშე;  
 5 – BK 20 + TiN (5 მკმ) – MDF; 6 – BK 20 - TiN (20 მკმ) – MDF.

#### 4. მსუბუქი ტიპის მერქანპოლიმერული კომპოზიტის როტაციული ფრეზვის პროცესის ენერგოდალური პარამეტრების კვლევა მათემატიკური დაგეგმარების მეთოდის გამოყენებით

მსუბუქი ტიპის მერქანპოლიმერული კომპოზიტის ახარატების პროცესის ენერგოდალური პარამეტრების კვლევა მათემატიკური დაგეგმარების მეთოდის გამოყენებით ჩვენ გვადლევს შესაძლებლობას დავადგინოთ ოპტიმალური რეჟიმული ფაქტორები სხვადასხვა პარამეტრების გამოყენებით (ჭრის სიჩქარე, მიწოდების სიჩქარე, ჭრის სიღრმე) აქედან გამომდინარე ზედაპირის სისუფთავის ხარისხი უმცირეს ხიმძლავრის დანახარჯებში.

განვიხილოთ მსუბუქი ტიპის მერქანპოლიმერული კომპოზიტის (მ.პ.კ) როტაციული ფრეზვით დამუშავების ძალური პარამეტრები, რომლის სიმკვრივეა 700-750 კგ/მ<sup>3</sup>; ღუნვაზე დრეკადობის მოდული 3500-4000 მპა; ღუნვაზე სიმტკიცის ზღვარი 30-35 მპა, ხოლო სისალე 20-27 მპა.

ენერგოდალურ პარამეტრებს ვიკვლევთ მათემატიკური დაგეგმარების საშუალებით, სრულფაქტორიანი ექსპერიმენტის საფუძველზე.

მუდმივ ფაქტორებად ჩავთვალოთ:

1. დასამუშავებელი მასალა – მ.პ.კ. რომლის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები მოყვანილია ზემოთ.
2. მჭრელი ინსტრუმენტი – დისკური ხერხი  $\varnothing 100$  მმ. აღჭურვილი სალიშენადნობიანი საჭრისებით BK 20 მარკის მასალით; კბილთა რიცხვი  $z=4$ .

ცვლადი ფაქტორებად ვიყენებთ:

1.  $V$  – ჭრის სიჩქარეს (მ/წმ);
2.  $U$  – მიწოდების სიჩქარეს (მ/წთ);
3.  $t$  – ჭრის სიღრმეს (მმ).

კოდირებულ და ნატურალურ მნიშვნელობებს ერთმანეთთან ვაკავშირებთ ფორმულის (1) საშუალებით:

$$X_i = \frac{\tilde{X} - X_{i0}}{\Delta X_i}, \quad (1)$$

სადაც  $X_i$  – დამოუკიდებელი პირობითი ცვლადია;

$\tilde{X}$  – მიმდინარე მნიშვნელობა ფაქტიური ცვლადისა;

$X_{i0}$  – ნულოვან დონეზე ფაქტიური მნიშვნელობა

$\Delta X_i$  – ვარირების ინტერვალი

ე. ი. ყოველი  $X_i$  ცვლადის ვარირება ხდება ორ დონეზე  $X_{i\text{ზედა}}$  და  $X_{i\text{ზედა}}$  და ნულოვანი (ბაზისური) დონის  $X_{i0}$  მიმართ განლაგებულია სიმეტრიულად. გაანგარიშების გამარტივებისა და სტანდარტიზაციის მიზნით მათ კოდირებას ვახდენთ შემდეგი ციფრებით: -1; 0; +1.

0-ით კოდირებულ ფაქტორს ნულოვანი დონე ეწოდება; (-1)-ით კოდირებულს ქვედა, ხოლო (+1)-ით კოდირებულს ზედა დონე.

ექსპერიმენტების ჩატარების წესს განსაზღვრავს დაგეგმვის მატრიცა, ხოლო ცდების რაოდენობას, სრულფაქტორიანი ექსპერიმენტის ჩატარების დროს, ვსაზღვრავთ შემდეგი ფორმულით:

$$N = 2^K, \quad (2)$$

სადაც  $K$  - ცვლადი ფაქტორების რაოდენობაა;

მოცემულ შემთხვევაში  $K=3$  და შესაბამისად:

$$N = 2^3=8$$

აქედან გამომდინარე, სამფაქტორიანი ექსპერიმენტები მინიმუმ 8 ცდის ჩატარებას საჭიროებენ.

სამფაქტორიანი ექსპერიმენტის ჩასატარებლად ჩვენს მიერ შედგენილია ცხრილი 1, რომელიც წარმოადგენს დაგეგმვის მატრიცას.  $X_0$  წარმოადგენს ფორმალურ ცვლადს და ის რეგრესიის განტოლების თავისუფალ წევრს შეესაბამება. მისი მნიშვნელობა ყველა ცდაში მიღებულია (+1).

აღნიშნული ცხრილით ვხელმძღვანელობთ ყველა ექსპერიმენტისა და თეორიული ანგარიშის დროს.

ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა

ცდის №	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1X_2$	$X_1X_3$	$X_2X_3$	$X_1X_2X_3$	დაკვირვების რაოდენობა
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	3
2	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	3
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	3
4	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	3
5	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	3
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	3
7	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	3
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	3

ცხრილში 2 მოცემულია შერჩეული ცვლადი ფაქტორები და ვარირების ინტერვალები.

ცვლადი ფაქტორები და ვარირების ინტერვალები.

ფაქტორები	ვარირების დონე			ვარირების ინტერვალი
	ქვედა დონე	ნულოვანი დონე	ზედა დონე	
	-1	0	+1	
1. ჭრის სიჩქარე $V$ (მ/წმ)	10,9	18,9	26,9	8
2. მიწოდების სიჩქარე $U$ (მ/წთ)	0,5	2	3,5	1,5
3. ჭრის სიღრმე $t$ (მმ)	1	3	5	2

ფაქტიური ცვლადის პირობით ცვლადზე გადასაყვანად ვიყენებთ (1) ფორმულას.

მოცემული შემთხვევისათვის გვექნება:

$$X_1 = \frac{V - 18,9}{8}; \quad X_2 = \frac{U - 2}{1,5}; \quad X_3 = \frac{t - 3}{2}.$$

ვადგენთ დაგეგმვის მატრიცას ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცის მიხედვით, ნატურალური სახით.

ჩატარებული ექსპერიმენტის შედეგებს ვამუშავებთ სტატისტიკურად, ყველა მდგენელ ძალაზე ( $P_x$ ;  $P_z$ ;  $P_y$ ). ექსპერიმენტის ჩატარებისას ვხელმძღვანელობთ ცხრილი 3-ით



ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა ნატურალური სახით

ცდის №	ჭრის სიჩქარე $V$ (მ/წმ)	მიწოდების სიჩქარე $U$ (მ/წთ)	ჭრის სიმაღლე $h$ (მმ)
1	10,9	0,5	1
2	10,9	0,5	5
3	10,9	3,5	1
4	10,9	3,5	5
5	26,9	0,5	1
6	26,9	0,5	5
7	26,9	3,5	1
8	26,9	3,5	5

რვა ანათვლიდან ვანგარიშობთ საშუალო მნიშვნელობას:

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} . \quad (3)$$

დისპერსია:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y)^2}{n - 1} . \quad (4)$$

საშუალო კვადრატული გადახრა:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (5)$$

ვარიაციის კოეფიციენტი:

$$V = \frac{\sigma}{Y} 100\% \quad (6)$$

საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობის საშუალო ცდომილება იქნება:

$$\sigma_y = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

სიზუსტის მაჩვენებელი:

$$P = \frac{\sigma_y}{Y} 100\% \quad (8)$$

გამოთვლის შედეგები შეტანილია ქვემოთ მოცემულ ცხრილებში.

„P<sub>x</sub>“ ჭრის მდგენელი ძალების გამოთვლის შედეგები

ექსპერი- მენტის №	ცდების რაოდენო- ბა	საშუალო არიტმე- ტიკული $\bar{Y}$	საშუალო კვადრა- ტული გადახრა $\sigma$	დისპერ- სია $\sigma^2$	საშუალო შეცდომა $\sigma_y$	ვარიაციის კოეფიცი- ენტი P%	სიზუსტის მაჩვენე- ბელი P%
1	8	3,5	2,13	4,53	1,23	16,5	9,53
2	8	9,4	2,42	5,8	1,39	22,4	12,8
3	8	6,5	2,18	4,76	1,25	22,2	12,7
4	8	17,4	2,07	4,28	1,19	33,5	13,5
5	8	2,1	2,0	4,0	1,13	6,34	3,6
6	8	8,2	2,5	6,25	1,44	12,13	7,0
7	8	4,5	1,8	3,25	1,04	11,84	6,8
8	8	11,8	2,1	4,41	1,21	22,1	12,7

„P<sub>z</sub>“ ჭრის მდგენელი ძალების გამოთვლის შედეგები

ექსპერი- მენტის №	ცდების რაოდენო- ბა	საშუალო არიტმე- ტიკული $\bar{Y}$	საშუალო კვადრა- ტული გადახრა $\sigma$	დისპერ- სია $\sigma^2$	საშუალო შეცდომა $\sigma_y$	ვარიაციის კოეფიცი- ენტი P%	სიზუსტის მაჩვენე- ბელი P%
1	8	2,1	1,24	1,53	0,71	21,4	12,2
2	8	9,2	1,55	2,4	0,89	24,6	14,1
3	8	5,4	1,30	1,69	0,75	30,8	17,8
4	8	17,4	1,25	1,56	0,72	50,0	28,8
5	8	3,0	1,48	2,19	0,85	14,8	8,50
6	8	7,6	1,51	2,28	0,87	18,2	10,5
7	8	3,8	1,53	2,34	0,88	34,7	20,0
8	8	10,9	1,42	2,01	0,82	54,6	31,5

რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტებს ვპოულობთ ფორმულებით:

$$B_0 = \frac{\sum_{n=1}^n Y_n}{N}; \tag{9}$$

$$B_i = \frac{\sum_{i=1}^n X_{in} Y_n}{N}; \tag{10}$$

$$B_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{in} X_{jn} Y_n}{N}; \quad (11)$$

$$B_{ijq} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{in} X_{jn} X_{in} Y_n}{N}. \quad (12)$$

ექსპერიმენტის შედეგების მიხედვით შეგვიძლია რეგრესიის განტოლება მივიღოთ შემდეგი სახით:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + b_{123} X_1 X_2 X_3, \quad (13)$$

სადაც:  $b_i$  ( $i=0, 1, 2, 3$ ) -- ხაზოვანი ეფექტის ამსახველი რეგრესიის კოეფიციენტია;

$b_{ij}$  ( $i=1, 2; j=2, 3$ ) -- წყვილების ურთიერთქმედების ამსახველი რეგრესიის კოეფიციენტი;

$b_{ijq}$  ( $i=1; j=2, q=3$ ) -- სამმაგის ურთიერთქმედების ამსახველი რეგრესიის კოეფიციენტი;

$X_i$  ( $i=0...3$ ) -- პირობითი ცვლადებია.

ცხრილი 6

„P<sub>y</sub>“ ჭრის მდგენელი ძალის გამოთვლის შედეგები

ექსპერი- მენტის №	ცდების რაოდენო- ბა	საშუალო არითმე- ტიკული $\bar{Y}$	საშუალო კვადრა- ტული გადახრა $\sigma$	დისპერ- სია $\sigma^2$	საშუალო შეცდომა $\sigma_y$	ვარიაციის კოეფიცი- ენტიV%	სიზუსტის მაჩვენე- ბელი P%
1	8	1,6	1,06	1,12	0,61	18,3	11,3
2	8	6,9	1,34	1,79	0,77	19,4	12,1
3	8	4,1	1,24	1,53	0,65	21,4	16,3
4	8	13,0	1,05	1,10	0,63	49,4	25,6
5	8	1,0	1,15	1,32	0,74	15,6	7,3
6	8	5,7	1,25	1,56	0,73	17,2	9,4
7	8	2,9	1,22	1,49	0,73	29,7	18,0
8	8	8,2	1,21	1,46	0,80	44,6	28,4

ცხრილი 7

„P<sub>x</sub>“ მდგენელი ძალის რეგრესიის კოეფიციენტების გამოსათვლელი ცხრილი

ცდის №	$\tilde{Y}$	$X_0$ ( $b_0$ )	$X_1$ ( $b_1$ )	$X_2$ ( $b_2$ )	$X_3$ ( $b_3$ )	$X_1X_2$ ( $b_{12}$ )	$X_1X_3$ ( $b_{13}$ )	$X_2X_3$ ( $b_{23}$ )	$X_1X_2X_3$ ( $b_{123}$ )
1	3,5	+3,5	-3,5	-3,5	-3,5	+3,5	+3,5	+3,5	-3,5
2	9,4	+9,4	-9,4	-9,4	+9,4	+9,4	-9,4	-9,4	+9,4
3	6,5	+6,5	-6,5	+6,5	-6,5	-6,5	+6,5	-6,5	+6,5
4	17,4	+17,4	-17,4	+17,4	+17,4	-17,4	-17,4	+17,4	-17,4
5	2,1	+2,1	+2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	+2,1	+2,1
6	8,2	+8,2	+8,2	-8,2	+8,2	-8,2	+8,2	-8,2	-8,2
7	4,5	+4,5	+4,5	+4,5	-4,5	+4,5	-4,5	-4,5	-4,5
8	11,8	+11,8	+11,8	+11,8	+11,8	+11,8	+11,8	+11,8	+11,8
$\sum_1^n$		63,4	-10,2	16,9	30,2	-5,2	-3,5	6,3	-3,8

ცხრილი 8

„P<sub>z</sub>“ მდგენელი ძალის რეგრესიის კოეფიციენტების დასადგენი ცხრილი

ცდის №	$\tilde{Y}$	$X_0$ ( $b_0$ )	$X_1$ ( $b_1$ )	$X_2$ ( $b_2$ )	$X_3$ ( $b_3$ )	$X_1X_2$ ( $b_{12}$ )	$X_1X_3$ ( $b_{13}$ )	$X_2X_3$ ( $b_{23}$ )	$X_1X_2X_3$ ( $b_{123}$ )
1	2,1	+2,1	-2,1	-2,1	-2,1	+2,1	+2,1	+2,1	-2,1
2	9,2	+9,2	-9,2	-9,2	+9,2	+9,2	-9,2	-9,2	+9,2
3	5,4	+5,4	-5,4	+5,4	-5,4	-5,4	+5,4	-5,4	+5,4
4	17,4	+17,4	-17,4	+17,4	+17,4	-17,4	-17,4	+17,4	-17,4
5	3,0	+3,0	+3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	+3,0	+3,0
6	7,6	+7,6	+7,6	-7,6	+7,6	-7,6	+7,6	-7,6	-7,6
7	3,8	+3,8	+3,8	+3,8	-3,8	+3,8	-3,8	-3,8	-3,8
8	10,9	+10,9	+10,9	+10,9	+10,9	+10,9	+10,9	+10,9	+10,9
$\sum_1^n$		57,8	-10,6	17,3	32,5	-5,6	-5,7	5,6	-3,8

„ $P_y$ “ მდგენელი ძალისათვის რეგრესიის კოეფიციენტების  
საანგარიშო ცხრილი

ცდის №	$\tilde{Y}$	$X_0$ ( $b_0$ )	$X_1$ ( $b_1$ )	$X_2$ ( $b_2$ )	$X_3$ ( $b_3$ )	$X_1X_2$ ( $b_{12}$ )	$X_1X_3$ ( $b_{13}$ )	$X_2X_3$ ( $b_{23}$ )	$X_1X_2X_3$ ( $b_{123}$ )
1	1,6	+1,6	-1,6	-1,6	-1,6	+1,6	+1,6	+1,6	-1,6
2	6,9	+6,9	-6,9	-6,9	+6,9	+6,9	-6,9	-6,9	+6,9
3	4,1	+4,1	-4,1	+4,1	-4,1	-4,1	+4,1	-4,1	+4,1
4	13,0	+13,0	-13,0	+13,0	+13,0	-13,0	-13,0	+13,0	-13,0
5	1,0	+1,0	+1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	+1,0	+1,0
6	5,7	+5,7	+5,7	-5,7	+5,7	-5,7	+5,7	-5,7	-5,7
7	2,9	+2,9	+2,9	+2,9	-2,9	+2,9	-2,9	-2,9	-2,9
8	8,2	+8,2	+8,2	+8,2	+8,2	+8,2	+8,2	+8,2	+8,2
$\sum_1^n$		43,4	-7,9	13,0	24,4	-4,2	-4,3	4,2	-2,9

„ $P_x$ “ მდგენელი ძალისათვის რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტები  
პირობითი ცვლადებისათვის იქნება:

$$b_0 = \frac{63,4}{8} = 7,93; \quad b_1 = \frac{-10,2}{8} = -1,28; \quad b_2 = \frac{16,9}{8} = 2,11;$$

$$b_3 = \frac{30,2}{8} = 3,78, \quad b_{12} = \frac{-5,0}{8} = -0,63; \quad b_{13} = \frac{-3,5}{8} = -0,44;$$

$$b_{23} = \frac{6,3}{8} = 0,79; \quad b_{123} = \frac{-3,8}{8} = -0,48.$$

მიღებული კოეფიციენტების მნიშვნელობას ვსაზღვრავთ ფიშერის  
კრიტერიუმით:

$$\Delta b_i = \pm \frac{2\sigma_y}{\sqrt{nnN}} = \pm \frac{2 \cdot 1,44}{\sqrt{6 \cdot 8}} = 0,41.$$

შევადაროთ F ფიშერის კრიტერიუმის საანგარიშო მნიშვნელობა  
ცხრილებიდან აღებულ კოეფიციენტს  $F_{ცხრ.} = 0,85$ . რადგან  $0,41 < F_{ცხრ.} = 0,85$ ,  
ნაკლებ კოეფიციენტებს მივიჩნევთ უმნიშვნელოდ და შესაბამისად რეგრესიის  
განტოლება შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$P_x = 7,93 - 1,28X_1 + 2,11X_2 + 3,78X_3.$$

მიღებულ განტოლებას ფორმულის (1) საშუალებით გადავიყვანოთ ფაქტიურ ცვლადებში:

$$P_{x_{\text{ჯამ}}}=7,93-1,28\left(\frac{V-18,9}{8}\right)+2,11\left(\frac{U-2}{1,5}\right)+3,78\left(\frac{t-3}{2}\right).$$

მიღებული განტოლების გამარტივებით გვექნება:

$$P_{x_{\text{ჯამ}}}=2,48-0,16V+1,4U+1,89t.$$

„P<sub>z</sub>“ მდგენელი ძალისათვის რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტები პირობითი ცვლადებისათვის იქნება:

$$b_0 = \frac{57,8}{8} = 7,23; \quad b_1 = \frac{-10,6}{8} = -1,33; \quad b_2 = \frac{17,3}{8} = 2,16;$$

$$b_3 = \frac{32,5}{8} = 4,06, \quad b_{12} = \frac{-5,6}{8} = -0,7; \quad b_{13} = \frac{-5,7}{8} = -0,71;$$

$$b_{23} = \frac{5,6}{8} = 0,7; \quad b_{123} = \frac{-3,8}{8} = -0,48.$$

მიღებული კოეფიციენტების მნიშვნელობას განვსაზღვრავთ ფიშერის კრიტერიუმით:

$$\Delta b_i = \pm \frac{2\sigma_y}{\sqrt{mN}} = \pm \frac{2 \cdot 0,88}{\sqrt{6 \cdot 8}} = 0,3.$$

შევადაროთ F ფიშერის კრიტერიუმის საანგარიშო მნიშვნელობა ცხრილებიდან აღებულ კოეფიციენტს  $F_{ცხრ.} = 0,85$ . რადგან  $0,3 < F_{ცხრ.} = 0,85$ , ნაკლებ კოეფიციენტებს მივიჩნევთ უმნიშვნელოდ და შესაბამისად რეგრესიის განტოლება შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$P_z = 7,23 - 1,33X_1 + 2,16X_2 + 4,06X_3.$$

მიღებულ განტოლებას ფორმულის (1) საშუალებით გადავიყვანოთ ფაქტიურ ცვლადებში:

$$P_{z_{\text{ჯამ}}}=7,23-1,33\left(\frac{V-18,9}{8}\right)+2,16\left(\frac{U-2}{1,5}\right)+4,06\left(\frac{t-3}{2}\right).$$

მიღებული განტოლების გამარტივებით საბოლოოდ გვექნება:

$$P_{z_{\text{ჯამ}}}=1,48-0,17V+1,44U+2,03t.$$

„P<sub>y</sub>“ მდგენელი ძალისათვის რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტები პირობითი ცვლადებისათვის იქნება:

$$b_0 = \frac{43,4}{8} = 5,43; b_1 = \frac{-7,9}{8} = -1,0; b_2 = \frac{13,0}{8} = 1,63;$$

$$b_3 = \frac{24,4}{8} = 3,05, b_{12} = \frac{-4,2}{8} = -0,53; b_{13} = \frac{-4,3}{8} = -0,54;$$

$$b_{23} = \frac{4,2}{8} = 0,53; b_{123} = \frac{-2,9}{8} = -0,36.$$

მიღებული კოეფიციენტების მნიშვნელობას განვსაზღვრავთ ფიშერის კრიტერიუმით:

$$\Delta b_i = \pm \frac{2\sigma_y}{\sqrt{nN}} = \pm \frac{2 \cdot 0,88}{\sqrt{6 \cdot 8}} = 0,3.$$

შევადაროთ F ფიშერის კრიტერიუმის საანგარიშო მნიშვნელობა ცხრილებიდან აღებულ კოეფიციენტს  $F_{ცხრ.} = 0,85$ . რადგან  $0,3 < F_{ცხრ.} = 0,85$ , ნაკლებ კოეფიციენტებს მივიჩნევთ უმნიშვნელოდ და შესაბამისად რეგრესიის განტოლება შემდეგ სახეს მიიღებს:

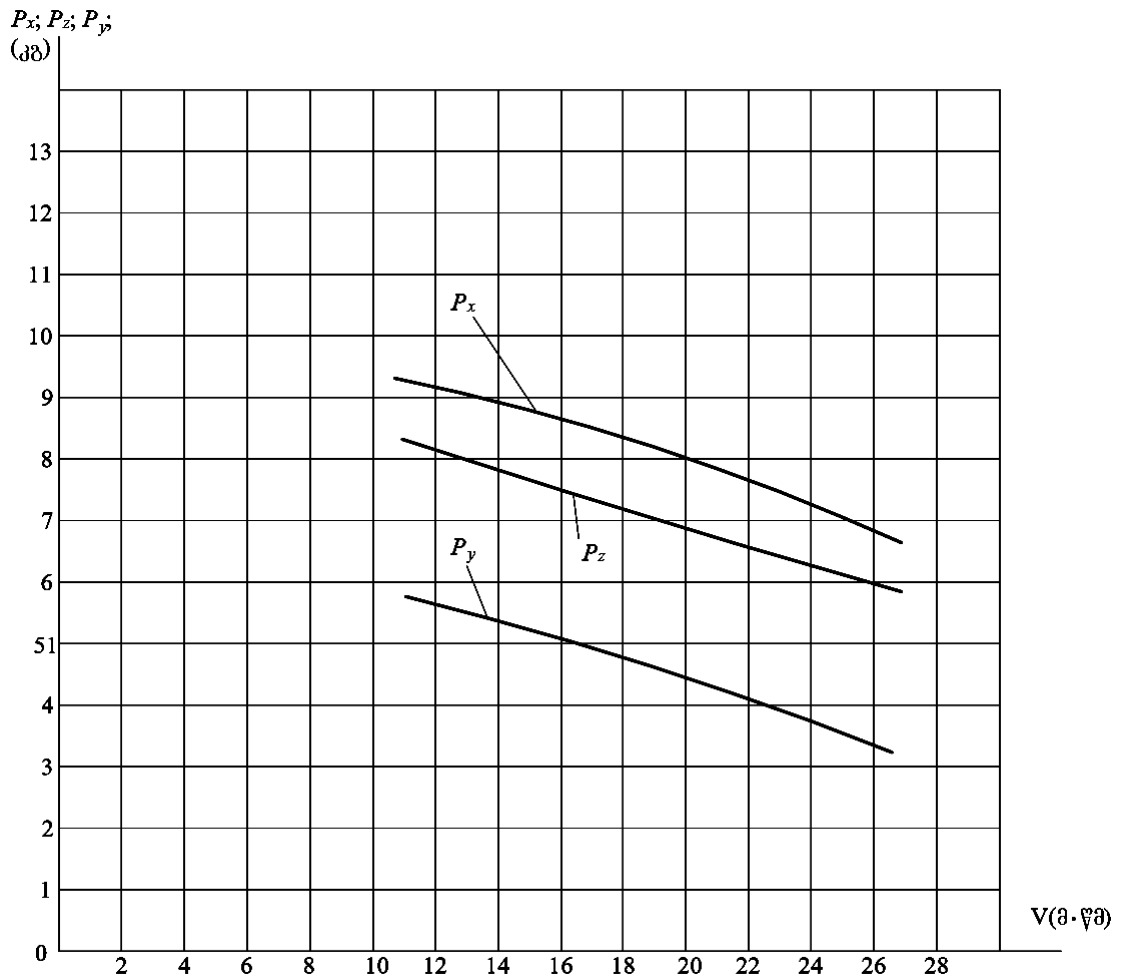
$$P_y = 5,43 - 1,0X_1 + 1,63X_2 + 3,05X_3.$$

მიღებულ განტოლებას ფორმულის (1) საშუალებით გადავიყვანთ ფაქტიურ ცვლადებში:

$$P_{y_{\text{ფაქტ}}} = 5,43 - 1,0 \left( \frac{V - 18,9}{8} \right) + 1,63 \left( \frac{U - 2}{1,5} \right) + 3,05 \left( \frac{t - 3}{2} \right).$$

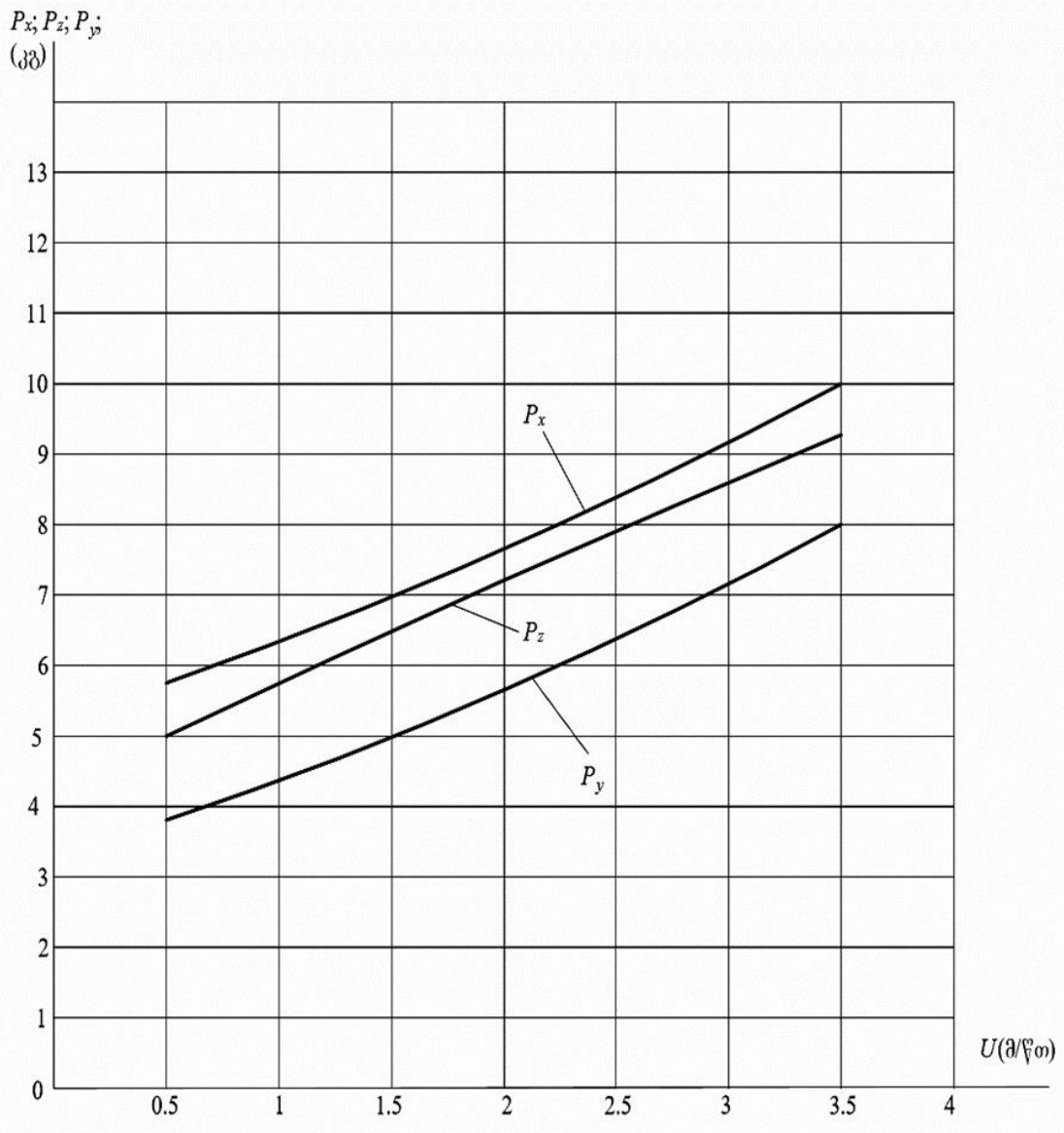
თუ გავამარტივებთ ამ განტოლებას საბოლოოდ მივიღებთ:

$$P_{y_{\text{ფაქტ}}} = 1,04 - 0,13V + 1,09U + 1,53t.$$

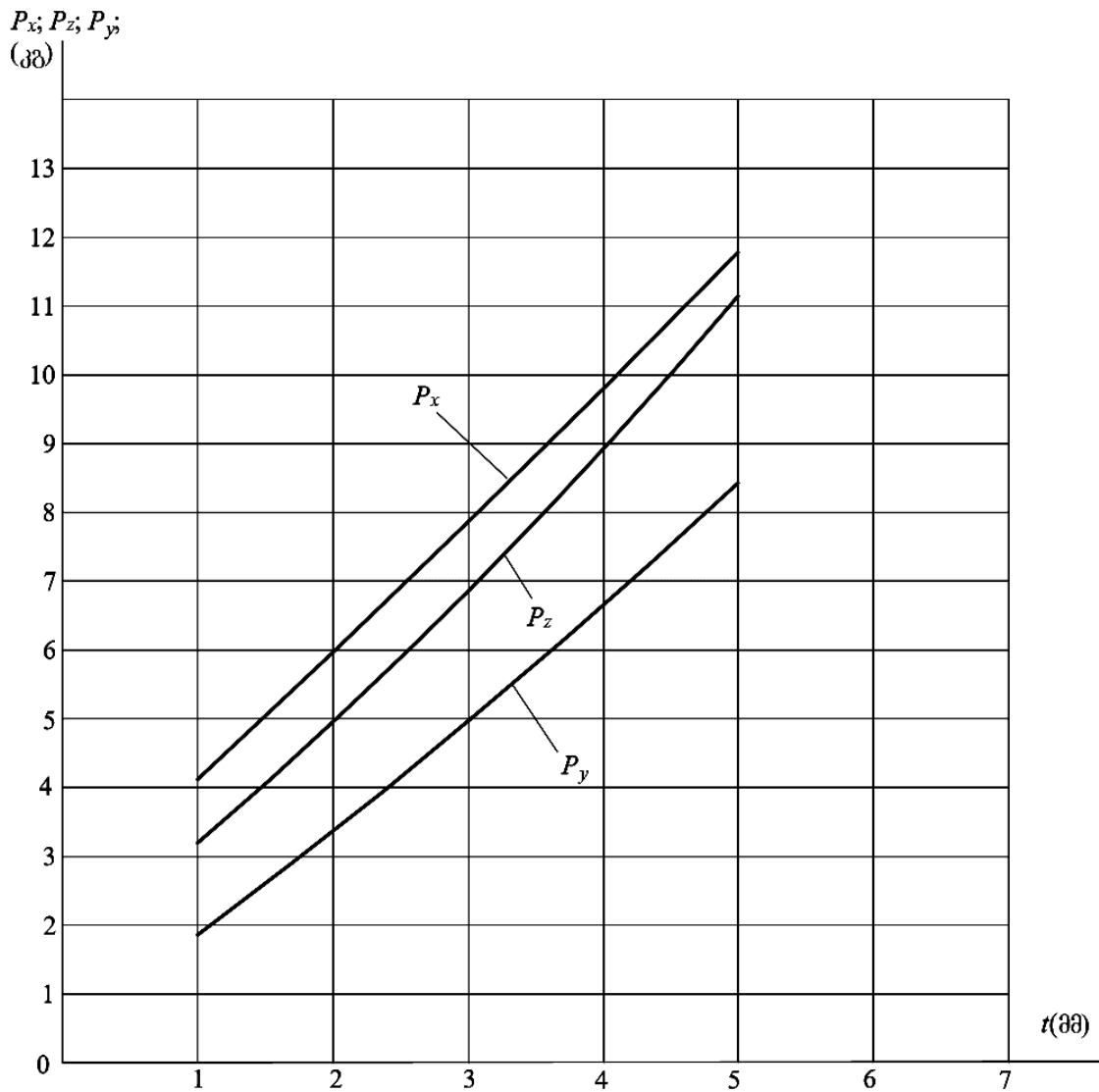


ნახ. 57.  $P_x$ ;  $P_z$  და  $P_y$  ჭრის ძალების მდგენელების  $V$  ჭრის სიჩქარეზე დამოკიდებულება მსუბუქი მ.პ.კ. დამუშავებისას. მიწოდების საშ. სიჩქარე  $\Sigma_{\text{საშ}}=2,0$  მ/წთ; სიღრმე  $t=3,0$  მმ.





ნახ. 58.  $P_x$ ;  $P_z$  და  $P_y$  ჭრის ძალების მდგენელების  $U$  მიწოდების სიჩქარეზე დამოკიდებულება მსუბუქი მ.პ.კ. დამუშავებისას. ჭრის საშ. სიჩქარე  $V_{საშ}=18.9$  მ/წმ; სიღრმე  $t=3.0$  მმ.



ნახ. 59.  $P_x$ ;  $P_z$  და  $P_y$  ჭრის ძალების მდგენელების ჭრის სიღრმეზე დამოკიდებულება მსუბუქი მ.პ.კ. დამუშავებისას.  
 ჭრის სიჩქარე  $V=18.9$  მ/წმ;  $U=2,0$  მ/წთ.

## 5. მსუბუქი ტიპის მერქანპოლიმერული კომპოზიტის ახარატების პროცესის ენერგოძალური პარამეტრების კვლევა მათემატიკური დაგეგმარების მეთოდის გამოყენებით

განვიხილოთ ახარატების ძალური პარამეტრები მსუბუქი ტიპის მერქანპოლიმერული კომპოზიტისათვის (მ.პ.კ), რომლის სიმკვრივეა 700-750 კგ/მ<sup>3</sup>; ლუნვაზე დრეკადობის მოდული 3500-4000 მპა; ლუნვაზე სიმტკიცის ზღვარი 30-35 მპა, ხოლო სისალე 20-27 მპა.

როგორც წინა შემთხვევაში, ძალური პარამეტრების კვლევას ვაწარმოებთ მათემატიკური დაგეგმარების გამოყენებით, რასაც საფუძვლად უდევს სრულფაქტორიანი ექსპერიმენტი.

მუდმივ ფაქტორებად ჩავთვალოთ:

1. დასამუშავებელი მასალა–მ.პ.კ., რომლის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები მოყვანილია ზემოთ;
2. მჭრელი ინსტრუმენტი–სახარატო საჭრისი აღჭურვილი BK 20 ტიპის სალიშენადნობიანი ფირფიტით;
3. ნამზადის დიამეტრი  $\varnothing=140$  მმ; სიგრძე 1200 მმ; დეტალის დიამეტრი  $\varnothing=100$  მმ;
4. შპინდელის ბრუნთა სიხშირე  $n = 2000$  ბრ/წთ; ჭრის სიღრმე  $t= 4$  მმ.

ცვლადი ფაქტორები შემდეგია:

1. სახარატო საჭრისის წინა კუთხე  $\gamma$  (გრად.);
2. სახარატო საჭრისის მთავარი კუთხე გეგმაში  $\varphi$  (გრად.);

მიწოდების სიჩქარე  $U$  (მმ/წთ).

კოდირებულ და ნატურალურ მნიშვნელობებს ერთმანეთთან ვაკავშირებთ ფორმულით (14):

$$X_i = \frac{\tilde{X}_i - X_{i0}}{\Delta X_i}, \quad (14)$$

სადაც  $X_i$ – დამოუკიდებელი პირობითი ცვლადია;

$\tilde{X}$  – მიმდინარე მნიშვნელობა ფაქტიური ცვლადისა;

$X_{i0}$  – ნულოვან დონეზე ფაქტიური მნიშვნელობა

$\Delta X_i$  – ვარირების ინტერვალი

ე. ი. ყოველი  $X_i$  ცვლადის ვარირება ხდება ორ დონეზე  $X_{iხედა}$  და  $X_{iზედა}$  და ნულოვანი (ბაზისური) დონის  $X_{i0}$  მიმართ განლაგებულია სიმეტრიულად. გაანგარიშების გამარტივებისა და სტანდარტიზაციის მიზნით მათ კოდირებას ვახდენთ შემდეგი ციფრებით: -1; 0; +1.

0-ით კოდირებულ ფაქტორს ნულოვანი დონე ეწოდება; (-1)-ით კოდირებულს ქვედა, ხოლო (+1)-ით კოდირებულს ზედა დონე.

ექსპერიმენტების ჩატარების წესს განსაზღვრავს დაგეგმვის მატრიცა, ხოლო ცდების რაოდენობას სრულფაქტორიანი ექსპერიმენტის ჩატარების დროს, ვსაზღვრავთ შემდეგი ფორმულით:

$$N = 2^K, \quad (15)$$

სადაც  $K$  - ცვლადი ფაქტორების რაოდენობაა;

მოცემულ შემთხვევაში  $K=3$  და აქედან გამომდინარე:

$$N = 2^3=8$$

შესაბამისად, სამფაქტორიანი ექსპერიმენტები მინიმუმ 8 ცდის ჩატარებას საჭიროებენ.

სამფაქტორიანი ექსპერიმენტის ჩასატარებლად ჩვენს მიერ შედგენილია ცხრილი 1, რომელიც წარმოადგენს დაგეგმვის მატრიცას.  $X_0$  წარმოადგენს ფორმალურ ცვლადს და ის რეგრესიის განტოლების თავისუფალ წევრს შეესაბამება. მისი მნიშვნელობა ყველა ცდაში მიღებულია (+1).

აღნიშნული ცხრილით ვხელმძღვანელობთ ყველა ექსპერიმენტისა და თეორიული ანგარიშის დროს.

ცხრილში 11 მოცემულია ცვლადი ფაქტორები და ვარირების ინტერვალები.

ფაქტიური ცვლადის პირობით ცვლადზე გადასაყვანად ვიყენებთ (1) ფორმულას.

მოცემული შემთხვევისათვის გვექნება:

$$X_1 = \frac{\gamma - 0}{10}; \quad X_2 = \frac{\varphi - 60}{30}; \quad X_3 = \frac{U - 0,6}{0,4}.$$

ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა

ცდის №	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	დაკვირვების რაოდენობა
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	3
2	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	3
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	3
4	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	3
5	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	3
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	3
7	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	3
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	3

ცვლადი ფაქტორები და ვარირების ინტერვალები.

ფაქტორები	ვარირების დონე			ვარირების ინტერვალი
	ქვედა დონე	სულოვანი დონე	ზედა დონე	
	-1	0	+1	
1. წინა კუთხე $\gamma$ (გრად.)	10	0	+10	10°
2. მთავარი კუთხე გეგმაში $\phi$ (გრად)	30°	30°	90°	30°
3. მიწოდების სიჩქარე $U$ (მ/წთ)	0,2	0,6	1,0	0,4

ვადგენთ დაგეგმვის მატრიცას ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცის მიხედვით, ნატურალური სახით.

ჩატარებული ექსპერიმენტის შედეგებს ვამუშავებთ სტატისტიკურად, ყველა მდგენელ ძალაზე ( $P_x$ ;  $P_z$ ;  $P_y$ ). ექსპერიმენტის ჩატარებისას ვხელმძღვანელობთ ცხრილი 12-ით. გამოთვალეთ რვა ანათვლიდან საშუალო მნიშვნელობა:

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_n}{n} . \tag{16}$$

დისპერსია:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y)^2}{n - 1} . \tag{17}$$

ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა ნატურალური სახით

ცდის №	ჭრის სიჩქარე $V$ (მ/წმ)	მიწოდების სიჩქარე $U$ (მ/წთ)	ჭრის სიმაღლე $h$ (მმ)
1	-10	30	0,2
2	-10	30	1,0
3	-10	90	0,2
4	-10	90	1,0
5	+10	30	0,2
6	+10	30	1,0
7	+10	90	0,2
8	+10	90	1,0

საშუალო კვადრატული გადახრა:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} . \quad (18)$$

ვარიაციის კოეფიციენტი:

$$V = \frac{\sigma}{Y} 100\% . \quad (19)$$

საშუალო არითმეტიკულის საშუალო ცდომილება:

$$\sigma_y = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} . \quad (20)$$

სიზუსტის მაჩვენებელი:

$$P = \frac{\sigma_y}{Y} 100\% . \quad (21)$$

გამოთვლების შედეგები შეტანილია ცხრილებში.

ფორმულებით ვანგარიშობთ რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტებს:

$$B_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_n}{N} ; \quad (22)$$

$$B_i = \frac{\sum_{i=1}^n X_{in} Y_n}{N} ; \quad (23)$$

$$B_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{in} X_{jn} Y_n}{N} ; \quad (24)$$

$$B_{ijq} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{in} X_{jn} X_{qn} Y_n}{N} . \quad (25)$$

„P<sub>x</sub>“ ჭრის მდგენელი ძალების გამოთვლის შედეგები

ექსპერი- მენტის №	ცდების რაოდენო- ბა	საშუალო არიტმე- ტიკული $\bar{Y}$	საშუალო კვადრა- ტული გადახრა $\sigma$	დისპერ- სია $\sigma^2$	საშუალო შეცდომა $\sigma_y$	ვარიაციის კოეფიცი- ენტი V%	სიზუსტის მაჩვენე- ბელი P%
1	8	2,67	0,29	0,08	0,09	11,14	3,86
2	8	4,34	0,36	0,13	0,12	8,44	2,98
3	8	2,24	0,34	0,12	0,12	15,42	5,46
4	8	4,00	0,53	0,25	0,19	13,32	4,71
5	8	2,65	0,44	0,19	0,15	16,51	5,83
6	8	3,71	0,51	0,26	0,18	13,77	4,86
7	8	2,05	0,42	0,18	0,15	20,54	7,25
8	8	3,58	0,45	0,20	0,16	12,47	4,41

„P<sub>z</sub>“ ჭრის მდგენელი ძალების გამოთვლის შედეგები

ექსპერი- მენტის №	ცდების რაოდენო- ბა	საშუალო არიტმე- ტიკული $\bar{Y}$	საშუალო კვადრა- ტული გადახრა $\sigma$	დისპერ- სია $\sigma^2$	საშუალო შეცდომა $\sigma_y$	ვარიაციის კოეფიცი- ენტი V%	სიზუსტის მაჩვენე- ბელი P%
1	8	2,55	0,32	0,10	0,11	12,47	4,41
2	8	4,00	0,41	0,17	0,14	10,17	3,59
3	8	2,80	0,41	0,17	0,15	14,78	5,22
4	8	4,60	0,34	0,12	0,12	7,39	2,61
5	8	2,25	0,27	0,07	0,09	11,89	4,20
6	8	3,78	0,50	0,25	0,18	18,65	4,71
7	8	2,70	0,32	0,10	0,11	11,87	4,19
8	8	4,30	0,35	0,12	0,12	8,06	2,85

ჩატარებული ექსპერიმენტები იძლევა რეგრესიის განტოლების შემდეგი სახით მიღების საშუალებას:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{123}X_1X_2X_3, \tag{26}$$

სადაც:  $b_i$  ( $i=0, 1, 2, 3$ ) -- ხაზოვანი ეფექტის ამსახველი რეგრესიის კოეფიციენტია;

$b_{ij}$  ( $i=1, 2; j=2, 3$ ) – წყვილების ურთიერთქმედების ამსახველი რეგრესიის კოეფიციენტი;

$b_{ijq}$  ( $i=1; j=2, q=3$ ) -- სამმაგის ურთიერთქმედების ამსახველი რეგრესიის კოეფიციენტი;

$X_i$  ( $i=0...3$ ) -- პირობითი ცვლადებია.

ცხრილი 15

„ $P_y$ “ ჭრის მდგენელი ძალების გამოთვლის შედეგები

ექსპერი- მენტის №	ცდების რაოდენ- ობა	საშუალო არიტმე- ტიკული $\bar{Y}$	საშუალო კვადრატული გადახრა $\sigma$	დისპერ- სია $\sigma^2$	საშუალო შეცდომა $\sigma_y$	ვარიაციის კოეფიცი- ენტი $V\%$	სიზუსტის მაჩვენ- ბელი $P\%$
1	8	1,74	0,15	0,02	0,05	8,64	3,05
2	8	2,81	0,39	0,15	0,14	13,70	4,84
3	8	1,46	0,23	0,05	0,08	15,51	5,47
4	8	2,35	0,32	0,10	0,11	13,53	4,78
5	8	1,35	0,29	0,09	0,10	21,67	7,57
6	8	2,69	0,28	0,08	0,09	10,35	3,65
7	8	1,35	0,19	0,04	0,07	13,9	4,95
8	8	2,30	0,27	0,07	0,09	11,52	4,07

ცხრილი 16

რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტების დასადგენად „ $P_x$ “  
მდგენელი ძალისათვის საანგარიშო ცხრილი

ცდის №	$\bar{Y}$	$X_0$ ( $b_0$ )	$X_1$ ( $b_1$ )	$X_2$ ( $b_2$ )	$X_3$ ( $b_3$ )	$X_1X_2$ ( $b_{12}$ )	$X_1X_3$ ( $b_{13}$ )	$X_2X_3$ ( $b_{23}$ )	$X_1X_2X_3$ ( $b_{123}$ )
1	2,67	+2,67	-2,67	-2,67	-2,67	+2,67	+2,67	+2,67	-2,67
2	4,34	+4,34	-4,34	-4,34	+4,34	+4,34	-4,34	-4,34	+4,34
3	2,24	+2,24	-2,24	+2,24	-2,24	-2,24	+2,24	-2,24	+2,24
4	4,00	+4,00	-4,00	+4,00	+4,00	-4,00	-4,00	+4,00	-4,00
5	2,65	+2,65	+2,65	-2,65	-2,65	-2,65	-2,65	+2,65	+2,65
6	3,71	+3,71	+3,71	-3,71	+3,71	-3,71	+3,71	-3,71	-3,71
7	2,05	+2,05	+2,05	+2,05	-2,05	+2,05	-2,05	-2,05	-2,05
8	3,58	+3,58	+3,58	+3,58	+3,58	+3,58	+3,58	+3,58	+3,58
$\sum_1^n$		25,24	-1,464	-1,504	6,024	0,04	-0,84	0,56	0,384



რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტების დასადგენად „ $P_z$ “  
მდგენელი ძალისათვის საანგარიშო ცხრილი

ცდის №	$\bar{Y}$	$X_0$ ( $b_0$ )	$X_1$ ( $b_1$ )	$X_2$ ( $b_2$ )	$X_3$ ( $b_3$ )	$X_1X_2$ ( $b_{12}$ )	$X_1X_3$ ( $b_{13}$ )	$X_2X_3$ ( $b_{23}$ )	$X_1X_2X_3$ ( $b_{123}$ )
1	2,55	+2,55	-2,55	-2,55	-2,55	+2,55	+2,55	+2,55	-2,55
2	4,00	+4,00	-4,00	-4,00	+4,00	+4,00	-4,00	-4,00	+4,00
3	2,80	+2,80	-2,80	+2,80	-2,80	-2,80	+2,80	-2,80	+2,80
4	4,60	+4,60	-4,60	+4,60	+4,60	-4,60	-4,60	+4,60	-4,60
5	2,25	+2,25	+2,25	-2,25	-2,25	-2,25	-2,25	+2,25	+2,25
6	3,78	+3,78	+3,78	-3,78	+3,78	-3,78	+3,78	-3,78	-3,78
7	2,70	+2,70	+2,70	+2,70	-2,70	+2,70	-2,70	-2,70	-2,70
8	4,30	+4,30	+4,30	+4,30	+4,30	+4,30	+4,30	+4,30	+4,30
$\sum_1^n$		26,984	-0,92	1,808	6,384	0,12	0,12	0,424	-0,28

რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტების დასადგენად „ $P_y$ “  
მდგენელი ძალისათვის საანგარიშო ცხრილი

ცდის №	$\bar{Y}$	$X_0$ ( $b_0$ )	$X_1$ ( $b_1$ )	$X_2$ ( $b_2$ )	$X_3$ ( $b_3$ )	$X_1X_2$ ( $b_{12}$ )	$X_1X_3$ ( $b_{13}$ )	$X_2X_3$ ( $b_{23}$ )	$X_1X_2X_3$ ( $b_{123}$ )
1	1,74	+1,74	-1,74	-1,74	-1,74	+1,74	+1,74	+1,74	-1,74
2	2,81	+2,81	-2,81	-2,81	+2,81	+2,81	-2,81	-2,81	+2,81
3	1,46	+1,46	-1,46	+1,46	-1,46	-1,46	+1,46	-1,46	+1,46
4	2,35	+2,35	-2,35	+2,35	+2,35	-2,35	-2,35	+2,35	-2,35
5	1,35	+1,35	+1,35	-1,35	-1,35	-1,35	-1,35	+1,35	+1,35
6	2,69	+2,69	+2,69	-2,69	+2,69	-2,69	+2,69	-2,69	-2,69
7	1,35	+1,35	+1,35	+1,35	-1,35	+1,35	-1,35	-1,35	-1,35
8	2,30	+2,30	+2,30	+2,30	+2,30	+2,30	+2,30	+2,30	+2,30
$\sum_1^n$		16,048	-0,672	-1,128	4,248	0,352	0,328	0,568	-0,208

„ $P_x$ “ მდგენელი ძალისათვის რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტები  
პირობითი ცვლადებისათვის იქნება:

$$b_0 = \frac{24,24}{8} = 3,155; \quad b_1 = \frac{-1,464}{8} = -0,183; \quad b_2 = \frac{-1,504}{8} = -0,188;$$

$$b_3 = \frac{6,024}{8} = 0,753, \quad b_{12} = \frac{0,04}{8} = 0,005; \quad b_{13} = \frac{-0,84}{8} = -0,105;$$

$$b_{23} = \frac{0,56}{8} = 0,070; \quad b_{123} = \frac{0,384}{8} = 0,048.$$

მიღებული კოეფიციენტების მნიშვნელობას განვსაზღვრავთ ფიშერის კრიტერიუმით:

$$\Delta b_i = \pm \frac{2\sigma_y}{\sqrt{nnN}} = \pm \frac{2 \cdot 0,19}{\sqrt{3 \cdot 8}} = 0,077.$$

შევადაროთ F ფიშერის კრიტერიუმის საანგარიშო მნიშვნელობა ცხრილებიდან აღებულ კოეფიციენტს  $F_{ცხრ.} = 0,1$ . რადგან  $0,077 < F_{ცხრ.} = 0,1$ , ნაკლებ კოეფიციენტებს მივიჩნევთ უმნიშვნელოდ და შესაბამისად რეგრესიის განტოლება შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$P_x = 3,155 - 0,183X_1 - 0,188X_2 + 0,753X_3.$$

მიღებულ განტოლებას ფორმულა (1)-ის გამოყენებით გადავიყვანთ ფაქტიურ ცვლადებში:

$$P_{x_{ფაქტ.}} = 3,155 - 0,183 \left( \frac{\gamma - 0}{10} \right) - 0,188 \left( \frac{\varphi - 60}{30} \right) + 0,753 \left( \frac{U - 0,6}{0,4} \right).$$

თუ გავამარტივებთ ამ განტოლებას, მივიღებთ:

$$P_{x_{ფაქტ.}} = 2,4013 - 0,0183\gamma - 0,0063\varphi + 1,8812U.$$

„P<sub>z</sub>“ მდგენელი ძალისათვის რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტები პირობითი ცვლადებისათვის იქნება:

$$b_0 = \frac{26,984}{8} = 3,373; \quad b_1 = \frac{-0,92}{8} = -0,115; \quad b_2 = \frac{1,808}{8} = 0,226;$$

$$b_3 = \frac{6,384}{8} = 0,798, \quad b_{12} = \frac{0,12}{8} = 0,015; \quad b_{13} = \frac{0,12}{8} = 0,015;$$

$$b_{23} = \frac{0,424}{8} = 0,053; \quad b_{123} = \frac{-0,28}{8} = -0,035.$$

მიღებული კოეფიციენტების მნიშვნელობას განვსაზღვრავთ ფიშერის კრიტერიუმით:

$$\Delta b_i = \pm \frac{2\sigma_y}{\sqrt{nnN}} = \pm \frac{2 \cdot 0,18}{\sqrt{3 \cdot 8}} = 0,0735.$$

შევადაროთ F ფიშერის კრიტერიუმის საანგარიშო მნიშვნელობა ცხრილებიდან აღებულ კოეფიციენტს  $F_{ცხრ.} = 0,1$ . რადგან  $0,0735 < F_{ცხრ.} = 0,1$ ,

ნაკლებ კოეფიციენტებს მივიჩნევთ უმნიშვნელოდ და შესაბამისად რეგრესიის განტოლება შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$P_z = 3,373 - 0,115X_1 + 0,226X_2 + 0,798X_3.$$

მიღებულ განტოლებას ფორმულა (1)-ის გამოყენებით გადავიყვანოთ ფაქტიურ ცვლადებში:

$$P_{z_{ფაქტ}} = 3,373 - 0,115 \left( \frac{\gamma - 0}{10} \right) + 0,226 \left( \frac{\varphi - 60}{30} \right) + 0,738 \left( \frac{U - 0,6}{2} \right).$$

თუ გავამარტივებთ ამ განტოლებას, საბოლოოდ მივიღებთ:

$$P_{z_{ფაქტ}} = 1,7213 - 0,0115\gamma + 0,0076\varphi + 1,994U$$

„ $P_y$ “ მდგენელი ძალისათვის რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტები პირობითი ცვლადებისათვის იქნება:

$$b_0 = \frac{16,048}{8} = 2,006; b_1 = \frac{-0,672}{8} = -0,084; b_2 = \frac{-1,128}{8} = -0,141$$

$$b_3 = \frac{4,248}{8} = 0,531; b_{12} = \frac{0,352}{8} = 0,044; b_{13} = \frac{0,328}{8} = 0,041;$$

$$b_{23} = \frac{0,568}{8} = 0,071; b_{123} = \frac{-0,208}{8} = -0,026$$

მიღებული კოეფიციენტების მნიშვნელობას ვსაზღვრავთ ფიშერის კრიტერიუმით:

$$\Delta b_i = \pm \frac{2\sigma_y}{\sqrt{nnN}} = \pm \frac{2 \cdot 0,14}{\sqrt{3 \cdot 8}} = 0,057.$$

შევადაროთ F ფიშერის კრიტერიუმის საანგარიშო მნიშვნელობა ცხრილებიდან აღებულ კოეფიციენტს  $F_{ცხრ.} = 0,075$ . რადგან  $0,057 < F_{ცხრ.} = 0,075$ , ნაკლებ კოეფიციენტებს მივიჩნევთ უმნიშვნელოდ და შესაბამისად რეგრესიის განტოლება შემდეგ სახეს მიიღებს:

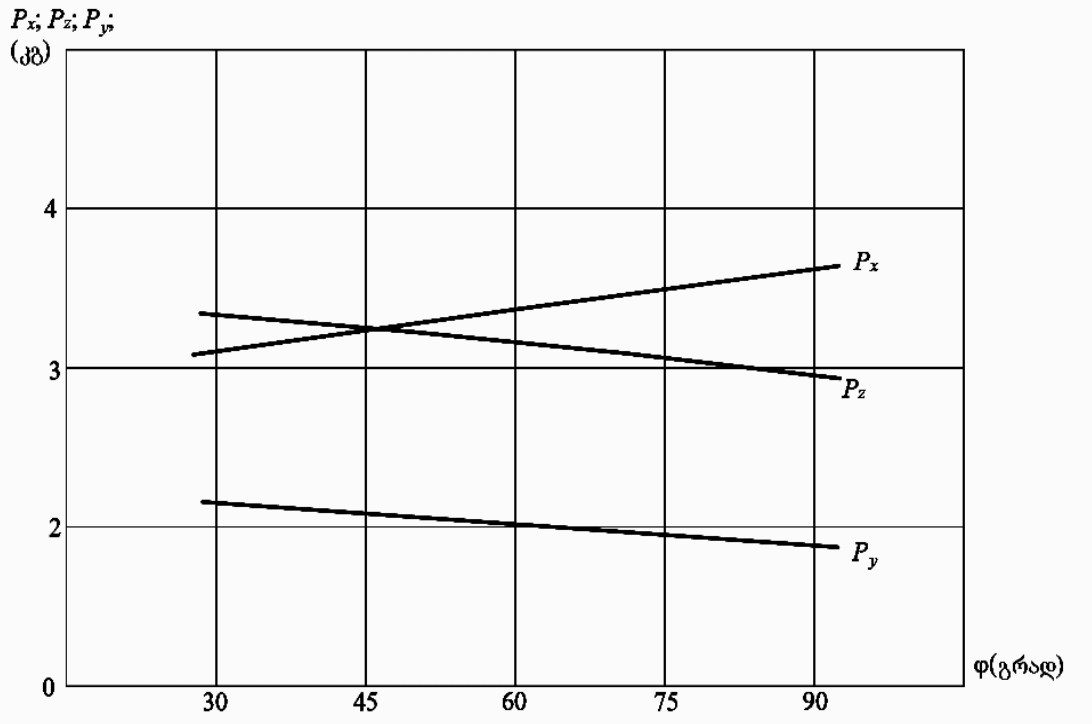
$$P_y = 2,006 - 0,084X_1 - 0,141X_2 + 0,531X_3.$$

მიღებულ განტოლებას ფორმულა (1)-ის გამოყენებით გადავიყვანოთ ფაქტიურ ცვლადებში:

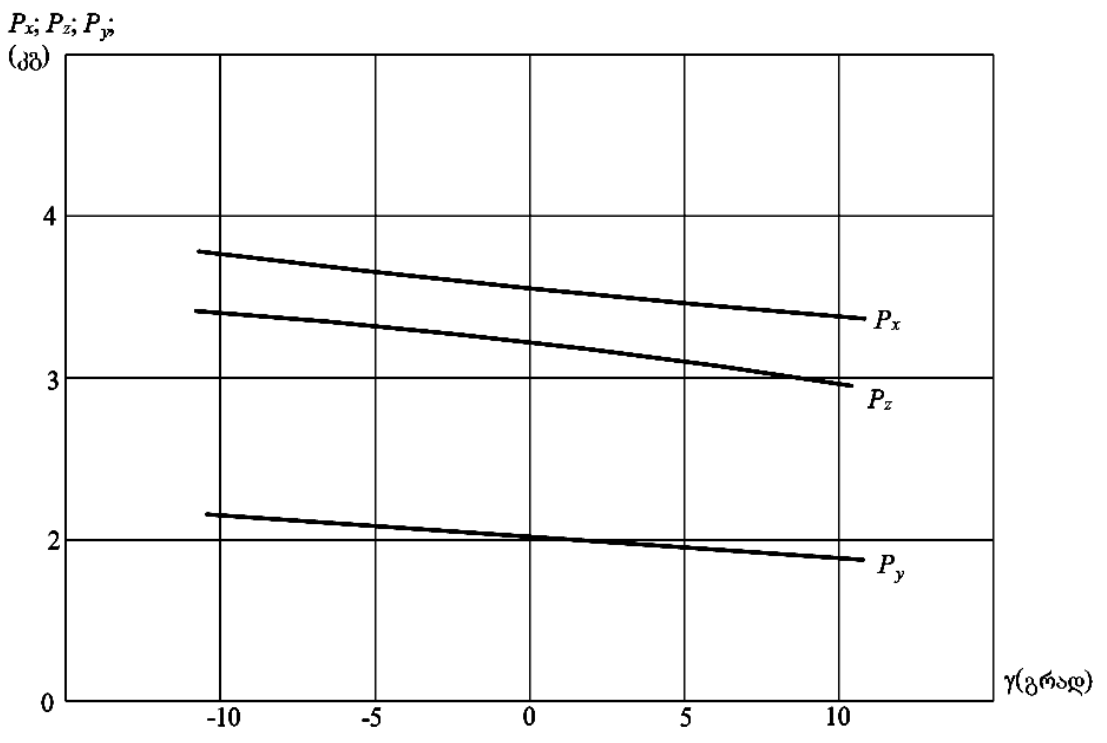
$$P_{y_{ფაქტ}} = 2,006 - 0,084 \left( \frac{\gamma - 0}{10} \right) - 0,141 \left( \frac{\varphi - 60}{30} \right) + 0,531 \left( \frac{U - 0,6}{0,4} \right).$$

თუ გავამარტივებთ ამ განტოლებას საბოლოოდ მივიღებთ:

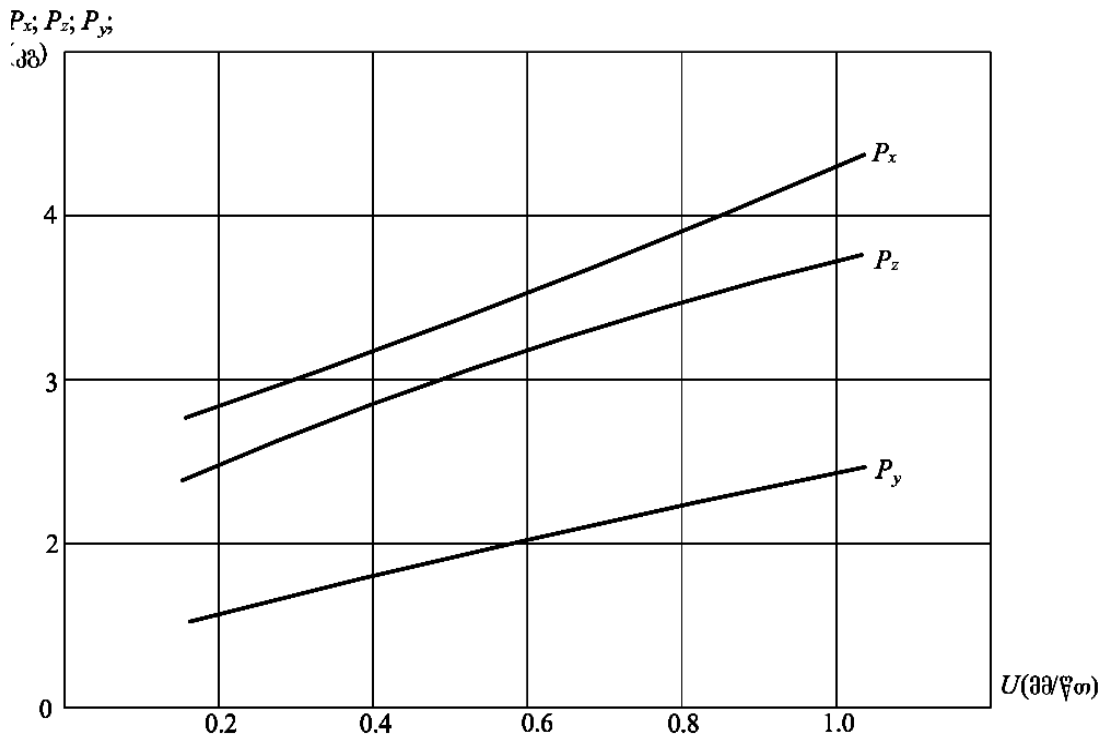
$$P_{y_{ფაქტ}} = 1,4915 - 0,0084\gamma - 0,0047\varphi + 1,328U.$$



ნახ. 60.  $P_x$ ;  $P_z$  და  $P_y$  ჰრის ძალის მდგენელების დამოკიდებულება საჭრისის მთავარ კუთხეზე გეგმაში  $\varphi$  (დასამუშავებელი მასალა მ.პ.კ. მიწოდების სიჩქარე  $U = 0,6$  მმ/წთ; წინა კუთხე  $\gamma = 0^\circ$ )



ნახ. 61.  $P_x$ ;  $P_z$  და  $P_y$  ჰრის ძალის მდგენელების დამოკიდებულება საჭრისის წინა კუთხეზე  $\gamma$  (დასამუშავებელი მასალა მსუბუქი მ.პ.კ.; მიწოდების სიჩქარე  $U = 0,6$  მმ/წთ; მთავარი კუთხე გეგმაში  $\varphi = 60^\circ$ )



ნახ. 62.  $P_x$ ;  $P_z$  და  $P_y$  კრის ძალის მდგენელების დამოკიდებულება მიწოდების სიჩქარეზე  $U$  (მმ/წთ) (დასამუშავებელი მასალა მსუბუქი მ.პ.კ. წინა კუთხე  $j=0^\circ$ ; მთავარი კუთხე გეგმაში  $\varphi=60^\circ$ )

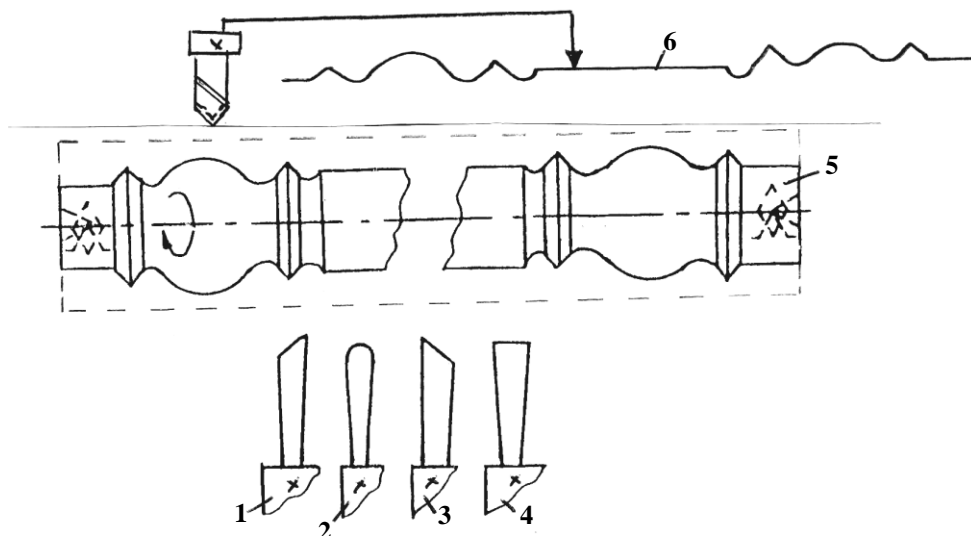
## 6. ეკონომიკური ნაწილი

### უნივერსალური სახარატო-საფრეზი-საკოპირე ჩარხის გამოყენების ეკონომიკური სარგებლის განსაზღვრა

პირველ რიგში განვიხილოთ რიგელების დამზადების ტექნოლოგიური პროცესები ერთის მხრივ ტრადიციული მეთოდების გამოყენებით და მეორე მხრივ უნივერსალური სახარატო-საფრეზი-საკოპირე ჩარხის გამოყენებით რომელიც დამაგრებული იქნება საკოპირე მოწყობილობა, რომელიც გვაქვს დაპატენტებული და წარმოადგენს სიახლეს ზემოაღნიშნულ ნაკეთობების ჭრის პროცესში.

მაშასადამე ტრადიციულად ნაკეთობის დამზადება მოიცავს შემდეგ ოპერაციებს:

I ოპერაცია სახარატო (ნამზადის შავად და სუფთად ახარატება გარე ცილინდრული ზედაპირების, დარების და ზოლურების მოჭრა).



ნახ. 63. გარე ცილინდრული ზედაპირების დამუშავების ესკიზი  
1, 2, 3, 4 – სახარატო საჭრისები; 5 – დეტალი; 6 – კოპირი

პირველი ოპერაციის შესასრულებლად ვიყენებთ 4 საჭრისს, ამ შემთხვევაში I ოპერაციის დამუშავების ძირითადი ტექნოლოგიური დრო იქნება:

$$t_{\partial} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_{\text{საკ.}}$$

ნახაზზე წყვეტილი ხაზებით ნაჩვენებია ნამზადი, რომელიც უნდა

დამუშავდეს გასავლელი და მისაბრჯენი მარჯვენა და მარცხენა საჭრისების გამოყენებით.

ამ ოპერაციის შესასრულებლად საჭიროა სულ მცირე 2 გადასვლის შესრულება 1 – საკოპირე მოწყობილობის გამოყენებით გარე ცილინდრული ზედაპირების შავად და სუფთად დამუშავება, როგორც ვხედავთ ზედაპირების დიამეტრების სხვაობა (ნამზადის და მზა დეტალს შორის) სულ მცირე 40 მმ შეადგენს

$$D_{\text{ნამზ}} = 140 \text{ მმ}, D_{\text{დეტmin}} = 100 \text{ მმ}.$$

$$\text{სხვაობა } D_{\text{სხ}} = D_{\text{ნამზ}} - D_{\text{დეტmin}} = 140 - 100 = 40 \text{ მმ}.$$

ამ შემთხვევაში საერთო ჭრის სიღრმე იქნება

$$h = \frac{D_{\text{სხ}}}{2} = \frac{40}{2} = 20 \text{ მმ}.$$

გასავლელი საჭრისის გამოყენებით შავად დამუშავებისათვის თუ ჩავთვლით  $h_{\text{ა}} = 4$  მმ – ჭრის სიღრმეს ერთ გავლაზე, სულ მცირე 4 გავლის შემდგომ სუფთად დამუშავებისათვის დაგვრჩება  $h_{\text{ს}} = 4$  მმ. ჭრის სიღრმე

$$h_{\text{ს}} = 20 - 4 \cdot 4 = 20 - 16 = 4 \text{ მმ}.$$

ნამზადის სუფთად დამუშავებისათვისაც საჭიროა 2 გავლის შესრულება, რომ დიამეტრი დავიყვანოთ 60 მმ-მდე. მაშასადამე  $4+2=6$  გავლით ვამუშავებთ დეტალის გარე ცილინდრულ ზედაპირებს შავად და სუფთად. ამ შემთხვევაში დამუშავების ძირითადი ტექნოლოგიური დრო შეადგენს:

$$t_{\text{ა}} = t_{\text{ა}} + t_{\text{ს}},$$

$$t_{\text{ა}} = \frac{\ell \cdot n}{U} = \frac{1,2 \cdot 4}{3} = 1,6 \text{ წთ},$$

$$t_{\text{ს}} = \frac{\ell \cdot n}{U} = \frac{1,2 \cdot 2}{1} = 2,4 \text{ წთ},$$

სადაც  $\ell = 1,2$  მ – დამუშავების სიგრძეა.

$U = 3$  მ/წთ;  $U = 1$  მ/წთ – შავად და სუფთად დამუშავების მოწოდების სიჩქარეებია;

$n = 4$ ;  $n = 2$  – შავად და სუფთად დამუშავების საჭრისის სვლათა რაოდენობაა.

მაშასადამე I ოპერაციის 1 გადასვლის ძირითადი ტექნოლოგიური დრო შეადგენს:

$$t_{d_1} = t_{\text{გ}} + t_{\text{ს}} = 1,6 + 2,4 = 3,6 \text{ წთ.}$$

I ოპერაციის 2 – გადასვლა – განივი მოწოდების გამოყენებით 1, 2, 3, 4 საჭრისელებით ზოლურების და ღარების სუფთად დამუშავება მარცხნივ და მარჯვნივ.

ამ საჭრისელებით დამუშავების ტექნოლოგიური დრო შეადგენს:

$$t_{d_2} = \frac{\ell \cdot n}{U} = \frac{0,5 \cdot 16}{0,5} = 12,8 \text{ წთ,}$$

სადაც 0,4 მ – თითოეული საჭრისის მოძრაობის მანძილი  $n = 16$  – დასამუშავებელი ზედაპირთა რაოდენობა.

საერთო ჯამში I ოპერაციის ძირითადი დრო შეადგენს

$$t_{d_1} = t_{d_1} + t_{d_2} = 3,6 + 12,8 = 16,4 \text{ წთ.}$$

[6]-ს მიხედვით ვადგენთ დამხმარე დროს

$$t_{\text{დამხ.}} = 1,6 \text{ წთ.}$$

მაშინ პირველი ოპერაციის საცალო დრო იქნება

$$T_{\text{საGI}} = t_{d_1} + t_{\text{დამხ.}} = 16,4 + 1,6 = 18 \text{ წთ.}$$

II ოპერაცია – საფრეზი (ბოლოვანა ფრეზით ხდება ან გრძივი ან დახრილი ღარების ამოფრეზვა).

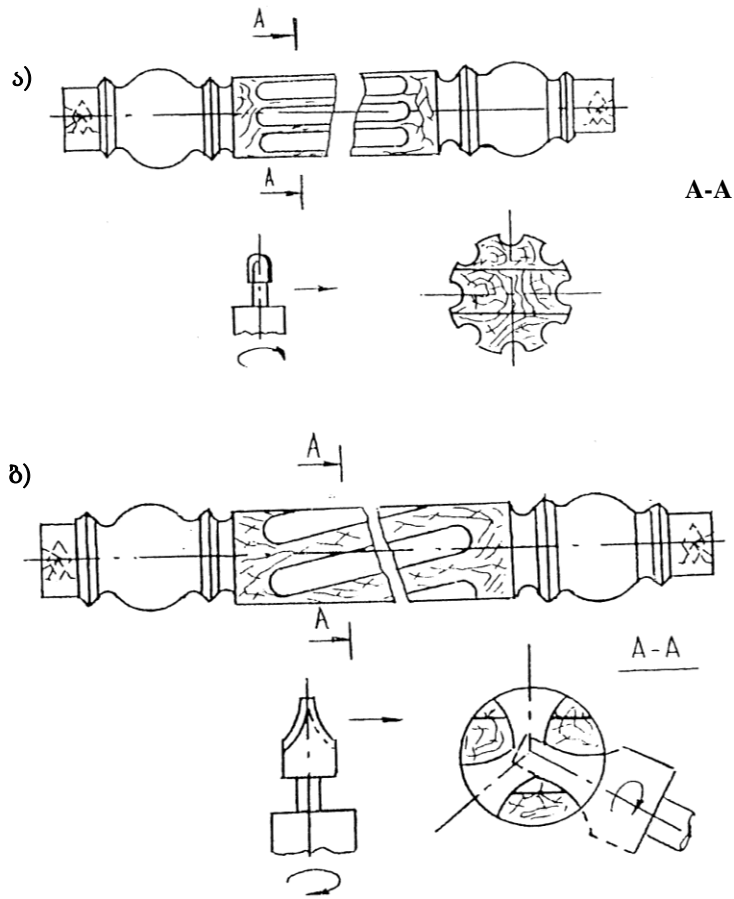
ძირითადი ტექნოლოგიური დრო ამ ოპერაციებზე იქნება

$$t_{d_2} = \frac{\ell \cdot n}{U} = \frac{0,7 \cdot 8}{3} = 1,87 \text{ წთ.}$$

[6]-ის მიხედვით დამხმარე დრო შეადგენს  $t_{\text{დამხ.}} = 0,8$  წთ საცალო დრო იქნება:

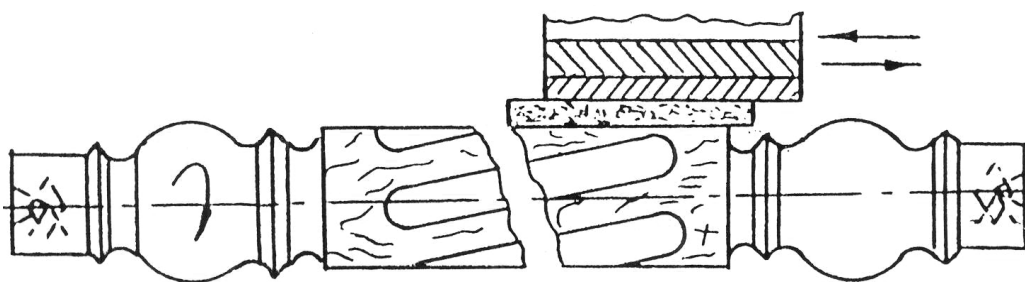
$$T_{\text{საGII}} = 1,87 + 0,8 = 2,67 \text{ წთ.}$$





ნახ. 64. ა – გრძივი და ბ – დახრილი ღარების ამოფრევის ტექნოლოგიური სქემები.

III ოპერაცია – სახეხი (გარე ცილინდრული ზედაპირების ხეხვის პროცესი)



ნახ. 65. დეტალის ზედაპირების ხეხვის ოპერაციის სქემა

ოპერაციას ვახორციელებთ სახარატო-საფრეზი საკორპორე ჩარხზე №40 ან № 32 სახეხი ქარგოლების გამოყენებით.

[6]-ის მიხედვით ამ ოპერაციის საცალო დრო შეადგენს

$$T_{\text{საგIII}} = 3,5 \text{ წთ.}$$

მაშასადამე ზემოაღნიშნული ტექნოლოგიური პროცესის დრო, რომელიც მოიცავს 3 ოპერაციას და სრულდება ერთ სახარატო-საფრეზი სკოპირე ჩარხზე შეადგენს

$$T_{\text{საგ}} = T_I + T_{II} + T_{III} = 18 + 2,67 + 3,5 = 24,17 \text{ წთ.}$$

განვსაზღვროთ ჩარხის მწარმოებლობა ფორმულით:

$$Q_{\text{აწ}} = \frac{T \cdot K \cdot i}{T_{\text{საგ}}},$$

სადაც  $T = 420$  წთ – დღიური სამუშაო პერიოდი წუთებში;

$T_{\text{საგ}} = 24,12$  – დეტალის დამუშავების საცალო დრო;

$K$  – ჩარხის გამოყენების კოეფიციენტი,  $K = 0,7$ ;

$i$  – ერთდროულად დამუშავებული დეტალების რაოდენობა

$$Q_{\text{აწ}} = \frac{T \cdot K \cdot i}{T_{\text{საგ}}} = \frac{420 \cdot 0,7 \cdot 1}{24,17} = 12,16 \approx 12 \text{ ცალი,}$$

$$Q_{\text{აწ}} = 12 \text{ ცალი.}$$

იმ შემთხვევაში, თუ I ოპერაციაში უნივერსალურ-საფრეზი-საკოპირე ჩარხზე დავამაგრებთ საკოპირე მოწყობილობას, რომელიც აღჭურვილია დისკური ფრეზით და სახეხი ქარგოლით. ამ შემთხვევაში სახარატო ოპერაციას შეიძლება უწოდოთ როტოფრეზირების ოპერაციად, რომელიც წარმოდენილია ქვემოთ სურათზე.

### I ოპერაცია – როტოფრეზირება და ხეხვა

გავიანგარიშოთ I ოპერაციის ძირითადი ტექნოლოგიური და საცალო დროები

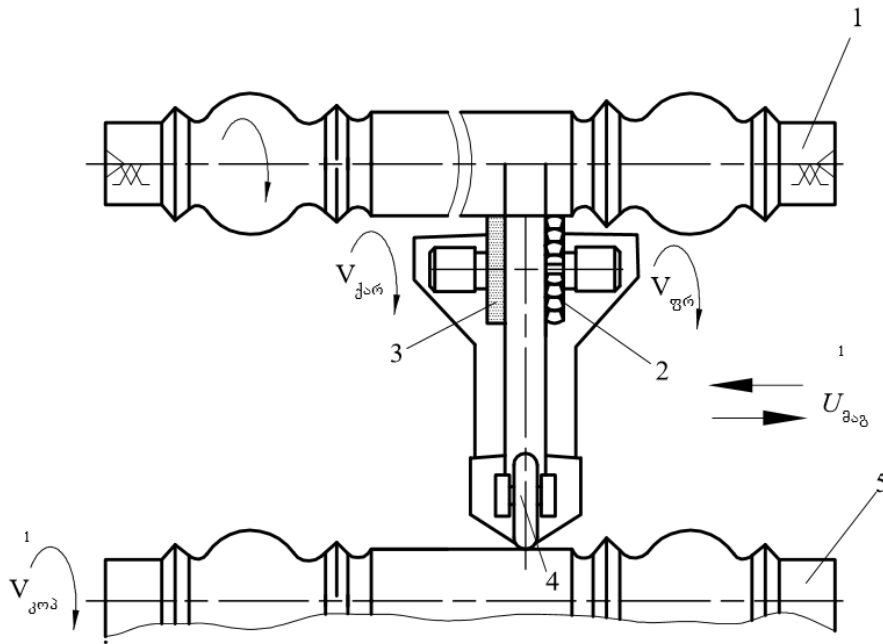
$$t_d = \frac{l}{U} = \frac{1,2}{2} = 1,2 \text{ მ,}$$

სადაც  $l$  დეტალის სიგრძეა,  $l = 1,2$  მ;

$U$  მიწოდების სიჩქარეა  $U = 1$  მ/წთ;

$$T_{\text{საგI}} = t_d + t_{\text{დამბ.}} = 1,2 + 0,8 = 2 \text{ წთ.}$$

II ოპერაციას და III ოპერაციას ვტოვებთ იგივეს, რაც წინა ვარიანტში განვიხილეთ, შესაბამისად



ნახ. 66. გარე ცილინდრული ზედაპირების ერთდროული როტოფრეზირება და ხეხვა (1 – დეტალი; 2 – დისკური ფრეზი; 3 – სახეხი ქარგოლი; 4 – საკოპირე გორგოლაჭი; 5–კოპირი).

II ოპერაციის საცალო დრო დარჩევა  $T_{საცII} = 2,67$  წთ.

III ოპერაციის დრო  $T_{საცIII} = 3,5$  წთ.

მესამე ოპერაცია მოიცავს როგორც სუფთად ხეხვას ასევე პოლიმერების ოპერაციას ზედაპირის საბოლოოდ მაღალი ხარისხის მისაღწევად მაშასადამე ტექნოლოგიური საქმის მეორე ვარიანტით დეტალის დამუშავების პეიოდი შეადგენს:

$$T_{საც}'' = T_I + T_{II} + T_{III} = 2 + 2,67 + 3,5 = 8,17 \text{ წთ.}$$

ამ შემთხვევაში ჩარხის მწარმოებლობა იქნება:

$$Q_{აწ}'' = \frac{T \cdot K \cdot i}{T_{საც}} = \frac{420 \cdot 0,7 \cdot 1}{8,17} \approx 34 \text{ ცალი.}$$

წინა ვარიანტის გაანგარიშება მოქცევა

$$Q_{აწ}' = 12 \text{ ცალი.}$$

სხვაობა ანუ მოგება ერთი დღის განმავლობაში ახალი მეთოდის გამოყენებისას გვაძლევს.

$$Q_{აწ}'' - Q_{აწ}' = 34 - 12 = 22 \text{ ცალი დეტალი.}$$

260 წლიური მუშაობის დღეთა განმავლობაში მართო ერთი ჩარხი აღჭურვილი როტოფრეზვის კოპირით დაამზადებს  $260 \times 22 = 5720$  ცალზე მეტ დეტალს. თუ დავადებთ ერთ დეტალს სარეალიზაციო ფასს დაახლოებით 50\$ დოლარს წლიური მოგება ამ სიახლის გამოყენებისას გვექნება

$$5720 \cdot 50\$ = 286000\$ \text{ დოლარი.}$$

## ძირითადი დასკვნები და რეკომენდაციები

1. დადგინდა, რომ როტოფრეზირების პროცესის გამოყენება გარე ცილინდრული ზედაპირების დასამუშავებლად არის ძალზე წარმოებლური და ეკონომიური ტრადიციული ახარატებით პროცესთან შედარებით.
2. დადგინდა, რომ როტოფრეზირების და ზედაპირის ხეხვის ერთობლივი პროცესის გამოყენება გვაძლევს ზედაპირების უფრო სწრაფ დამუშავებას და ოპერაციათა რაოდენობის შემცირებას.
3. მარტო ერთი ჩარხი აღჭურვილი როტოფრეზირების საკოპირე სუპორტზე სამანქანო დროის დაზოგვით იძლევა წლიურ მოგებას 286000\$.
4. ტექნოლოგიური გაანგარიშების საფუძველზე დადგინდა, რომ დამუშავების ნოვაციური მეთოდი ერთ ჩარხზე და ერთ სამუშაო დღის განმავლობაში 22 დეტალით მეტს ამუშავებს, ხოლო ერთი წლის განმავლობაში 5720 დეტალზე მეტს ტრადიციულ მეთოდთან შედარებით.
5. როტოფრეზის პროცესის ენერგოდამლური პარამეტრების კვლევამ გვიჩვენა, რომ მდგენელი ჭრის ძალები მატულობენ მიწოდების სიჩქარის მომატებასთან ერთად.
6. კვლევებმა აგრეთვე გვიჩვენა, რომ ჭრის მდგენელი ძალები მატულობენ ჭრის სიღრმის მატებასთან ერთად.
7. კვლევებმა აგრეთვე გვიჩვენა, რომ ჭრის მდგენელი ძალები მცირდება ჭრის სიჩქარის მატებასთან ერთად.
8. ნოვაციური და ტრადიციული მეთოდების შედარებამ გვიჩვენა, რომ ჭრის მდგენელი ძალები 2-3-ჯერ მეტია როტოფრეზირების პროცესის დროს, ვიდრე ჩვეულებრივ ახარატების დროს.
9. სახარატო საჭრისით ნამზადის ახარატების დროს ჭრის მდგენელი ძალები კლებულობს, როგორც საჭრისის წინა კუთხის მატებისთანავე, ასევე მთავარი კუთხის გეგმაში მატებისთანავე.
10. სახარატო საჭრისის მიწოდების სიჩქარის მატებისთანავე ჭრის მდგენელი ძალები, ასევე მატულობენ.

11. მერქანმჭრელი ინსტრუმენტი აღჭურვილი BK 20 ტიპის სალიშენადნობი ფირფიტით დაფარული ტიტანის ნიტრიტის 20 მკმ და 5 მკმ ფენით შევადარეთ დაუფარავ საჭრისთან და ცვეთამედეგობაზე ჩატარებულ კვლევებმა გვიჩვენებს რომ მერქანზურბუმელოვანი ნამზადის ახარატების დროს მედეგობა 25 %-ით იზრდება დაუფარავ და დაფარულს შორის.
12. ანალოგიური ექსპერიმენტები ცვეთამედეგობაზე ჩავატარეთ MDF-ის მასალების დამუშავებაზე რითაც დადგინდა, რომ ცვეთამედეგობა იზრდება ტიტანის ნიტრიდით TiN დაფარული ფენის ზრდასთან ერთად.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. ჩიტბე ზ., ბოქოლიშვილი ბ., აბაიშვილი ვ. ხის დასამუშავებელი წარმოების მოწყობილობები და იარაღები. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 1997.
2. Бершадский А.А., Цветкова В.В. Резание древесины. Изд. Высшая школа. Минск, 1975.
3. ჩიტბე ზ. მერქნული მასალების ჭრის დამუშავება. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. თბილისი. 1998.
4. ეზიკაშვილი ო. მანქანათა ნაწილები. თბილისი, განათლება. 1991.
5. ჩიხლაძე გ., გოგავა ლ., გოგიტიშვილი რ. ლითონსაჭრელი ჩარხების დაპროექტების საფუძვლები. თბილისი. 1983.
6. Монжос Ф.М. Дереворежущие станки. Изд. Лесная промышленность. М., 1974.
7. Кутуков Л.Г. Конструкции и расчет деревообрабатывающего оборудования. Лесная промышленность. М., 1985.
8. Черновский С.А. Курсовое проектирование деталей машин. М., 1979.
9. Афанасьев П.С. Станки и инструменты деревообрабатывающих предприятий. М., 1978.
10. Лосилова А.Г., Мещеряков Р.К. Справочник технолога машиностроителя. Том 1, том 2, изд. машиностроение. М., 1985.
11. Барановский. Режимы резания металлов. М., 1972.
12. Читидзе З.Д. Эффективные методы обработки древесных материалов. Изд. «Технологический университет», Тбилиси, 2006.
13. სარიშვილი ე. თანამედროვე ავეჯის და ინტერიერის დიზაინი. ჟურნალი „STYLE“ (2017 წელი).
14. ჩიტბე ზ., გელაშვილი ი., სარიშვილი ე., ჟღენტი მ., ბჟალავა ნ., გოგოტიშვილი მ. მაღალი სიმტკიცის მქონე ახალი კომპოზიციური მასალების ჭრის პროცესის კვლევა. 1 ნაწილი ჟურნალი „ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა“ № 2(51), თბილისი, 2021.
15. გელაშვილი ი., ჩიტბე ზ., მონიავა თ., ჟღენტი მ., სარიშვილი ე., კაპანაძე პ. მსუბუქი მერქანპოლიმერული კომპოზიტების ლენტური ხერხებით ხერხვის პროცესის ძალური პარამეტრების კვლევა (I ნაწილი) ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა № 1(53), 2022, გვ. 71-79.
16. გელაშვილი ი., ჩიტბე ზ., მონიავა თ., ჟღენტი მ., სარიშვილი ე., კაპანაძე პ. მძიმე მერქანპოლიმერული კომპოზიტების ლენტური ხერხებით ხერხვის პროცესის ძალური პარამეტრების კვლევა (II ნაწილი) ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა № 1(53), 2022, გვ. 80-85.

17. ჩიტბე ზ., გელაშვილი ი., სარიშვილი ე., ჟღენტი მ., კაპანაძე პ. საკოპირე მოწყობილობა ხის დასამუშავებელი ჩარხისთვის“, განაცხადი გამოგონებაზე 07.06.2022. საქპატენტი.
18. ჩიტბე ზ., გელაშვილი ი., სარიშვილი ე., ჟღენტი მ., ბჟალავა ნ. ტყის ხანძრის სწრაფი ჩამქრობი მოწყობილობა. განაცხადი გამოგონებაზე 07.06.2022. საქპატენტი.
19. სარიშვილი ე. საკოპირე მოწყობილობა ხის დამამუშავებელი ჩარხისათვის. ჟურნალი „ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა“ №3(55), თბილისი, 2022.
20. Пижурин А.А. Современные методы исследований технологических процессов в деревообработке. М.: Лесная промышленность, 1972.
21. ჩიტბე ზ., გელაშვილი ი. ხის დასამუშავებელი ჩარხი, საქ. პატენტი № 3380, 25.11.2004, ბ. № 22.