

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
საინჟინრო-ტექნოლოგიური ფაკულტეტი

**ლალი ხვადაგიანი**

**მოდულიზირებული ეკო შალის თელვის პროცესის  
კვლევა**

სამრეწველო ინჟინერიისა და ტექნოლოგიის (0409)  
დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარმოდგენილი

**დ ი ს ე რ ტ ა ც ი ა**

სამეცნიერო ხელმძღვანელი:  
მაია შარაბიძე  
ტმდ, პროფესორი

ქუთაისი, 2018

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

საინჟინრო - ტექნოლოგიური ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ლალი ხვადაგიანის მიერ დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს სახელწოდებით: „მოდულოგორებული ეკო შალის თელვის პროცესის კვლევა“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას განხილული იქნას აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის „საინჟინრო - ტექნოლოგიური ფაკულტეტის“ სადისერტაციო საბჭოს მიერ.

თარიღი

ხელმძღვანელი: შარაბიძე მათა  
რეცენზენტი: ლურსმანაშვილი ლია  
რეცენზენტი: ელიზბარაშვილი ელიზბარი

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

2018

ავტორი: ხვადაგიანი ლალი  
დასახელება: „მოდულიზებული ეკო შალის თელვის პროცესის კვლევა“  
ფაკულტეტი : საინჟინრო - ტექნოლოგიური ფაკულტეტი

ხარისხი: დოქტორის აკადემიური ხარისხი

სხდომა ჩატარდა:

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემომოაღნიშნული დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტს.

---

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით 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 ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

## შ ი ნ ა ა რ ს ი

შესავალი .....	6
<b>თავი1. ლიტერატურის მიმოხილვა და ანალიზი .....</b>	<b>11</b>
1.1. შალი – ძირითადი ნედლეული თექის წარმოებისთვის .....	11
1.1.1. შალის აგებულება და ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები .....	11
1.1.2. შალის დამუშავების მიზნით წარმოებული კვლევების ანალიზი .....	17
1. 2. თელვის პროცესი და მისი განმსაზღვრელი ფაქტორები .....	19
1.2.1. თელვისას ბოჭკოზე მოქმედი ძალები და დეფორმაციები .....	20
1.2.2. თელვის კვლევის მიმართულებით წარმოებული სამუშაოების ანალიზი ...	23
1.3. ბუნებრივი საღებრებით (პიგმენტებით) ღებვა .....	25
1.3.1. ბუნებრივი საღებრებით (პიგმენტებით) ღებვის თავისებურებანი .....	25
1.3.2. ბუნებრივი საღებრებით (პიგმენტებით) ღებვის სფეროში წარმოებული კვლევების ანალიზი .....	30
<b>თავი 2. მეთოდური ნაწილი .....</b>	<b>32</b>
2.1. კვლევის ობიექტები და დამხმარე მასალები .....	32
2.2. თელვის ხარისხისა და მახასიათებლების კვლევა .....	32
2.2.1. დეფორმაციული თვისებების კვლევა .....	32
2.2.2. ბოჭკოს კლაკნილობისა და ზედაპირული სტრუქტურის კვლევა .....	33
2.2.3. კუპიურის ფართობის ცვლილების კვლევა .....	33
2.2.4. სიმჭიდროვის (1სმ <sup>2</sup> -ის წონა) ცვლილების კვლევა .....	33
2.3. ბოჭკოს შეღებილობის მახასიათებლების ცვლილებების კვლევა .....	33
2.3.1. სამღებრო ხსნარიდან საღებრის ამოკრებისა და ფიქსაციის ხარისხის განსაზღვრა .....	33
2.3.2. შეღებილობის მდგრადობის განსაზღვრა .....	34
2.3.3. შეღებილობის ინტენსივობის განსაზღვრა .....	34
2.4. ანტიმიკრობული თვისებებისა და ბიოდესტრუქციისადმი მდგრადობის კვლევა .....	35
2.5. ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმარება .....	35

<b>თავი 3. ექსპერიმენტული ნაწილი</b> .....	36
3.1. მოდიფიცირებული შალის თელვის პროცესის კვლევა .....	37
3.1.1. შალის ბოჭკოს მოდიფიცირების ზეგავლენის კვლევა თელვის ხარისხზე .....	38
3.1.2. მოდიფიცირებული შალის დეფორმაციული თვისებების ცვლილების ზეგავლენის კვლევა თელვის პროცესზე .....	47
3.1.3. მოდიფიცირებული შალის კლაკნილობისა და ზედაპირული სტრუქტურის ცვლილების კვლევა .....	56
3.2. შალის მოდიფიცირებისა და თელვის რაციონალური პირობების განსაზღვრა .....	66
3.3. მოდიფიცირებული შალის ბუნებრივი საღებრებით კოლორირების კვლევა.....	75
3.3.1. შალის ბუნებრივი საღებრებით ღებვის პროცესის კვლევა .....	77
3.3.2. ბუნებრივი საღებრებით კოლორირებული შალის შეღებლობის ხარისხის კვლევა.....	85
3.3.3. კოლორირებული შალის თელვის კვლევა .....	87
3.4. მოდიფიცირებული შალის ბიოლოგიური დესტრუქციისადმი მდგრადობის კვლევა .....	90
3.5. მოდიფიცირებული შალის გამოყენებისა და ღებვის ეკოლოგიური უსაფრთხოების საკითხები .....	92
3.6. მოდიფიცირებული შალისგან თექის დამზადების ეკონომიკური მიზანშეწონილობის შეფასება .....	95
<b>დასკვნები და ძირითადი მეცნიერული მიღწევები</b> .....	99
<b>ლიტერატურა</b> .....	104
<b>დანართი</b> .....	112

## შესავალი

შალს ადამიანი უხსოვარი დროიდან იყენებს. მიიჩნევა, რომ პირველი საფეიქრო ნაწარმი, რომელიც მისგან დამზადდა, თექა იყო. საქართველოში თექის დამზადების მრავალსაუკუნოვანი გამოცდილება არსებობს. დღეისთვის თექის ნაკეთობები ძალზედ პოპულარულია როგორც ადგილობრივ მომხმარებლებს, ასევე ტურისტებს შორის. არსებობს თქმულება, რომლის თანახმადაც პირველი თექის დაფენილი ტილო თავისთავად შეიქმნა ნოეს კიდობანში ცხვრების მიერ მათი ჩამოცვენილი ბეწვის ტკეპნის შედეგად [1]. ამ თქმულებას ობიექტური საფუძველი გააჩნია. კერძოდ, მატყლის (შალის ბოჭკოს) მორფოლოგიური აგებულების შესწავლისას დადგენილ იქნა, რომ მას რელიეფური ე.წ. „თევზის ფარფლების“ წყობის სტრუქტურა აქვს, რომლის მეშვეობითაც, ხახუნისა და სხვა მექანიკური დატვირთვის ზემოქმედების შედეგად, ხდება ბოჭკოს ზედაპირების ურთიერთ გადახლართვა და საბოლოო ჯამში, ერთიანი ურღვევი სტრუქტურის მასალის ჩამოყალიბება. თექის ხარისხს, გარდა მხატვრული გაფორმებისა, ნედლეულის - შალის ბოჭკოს თვისებები და კოლორირების ხარისხი განაპირობებს. კაცობრიობის განვითარებასთან ერთად ვითარდებოდა შალის დამუშავებისა და მისგან სხვადასხვა სახის ტექსტილის დამზადების ტექნოლოგიები. დღეისათვის შალის ბოჭკოს დამუშავება სხვადასხვა ხერხით ხორციელდება, როგორცაა ქიმიკატების, დაბალტემპერატურული პლაზმის, დამაგნიტებული წყლისა და ა.შ. გამოყენება, რის შედეგადაც ბოჭკოს თვისებების ცვლილება სტრუქტურის სიღმეში ხორციელდება. ასეთი ცვლილებები გავლენას ახდენს როგორც თავად შალის ბოჭკოს, ასევე მისგან დამზადებული ნაწარმის თვისებებზე [2-5]. საგულისხმოა, რომ დაუმუშავებელი შალის ბოჭკო - მატყლი ძალიან კარგად ითელება, მაგრამ ამ დროს მიღებული თექა უხეში, გაცხიმოვნებული და არაფერადოვანია (მოთეთრო-მოყვითალო, რუხი, ყავისფერი ან შავია).

საუკუნეების მანძილზე, ტექნიკისა და ტექნოლოგიების განვითარების კვალობაზე, ხდებოდა თექის დამზადების მეთოდების სრულყოფა და ახალ - ახალი ხერხების შემუშავება. კერძოდ, ტრადიციული სველი მეთოდით თელვასთან ერთად გაჩნდა მშრალი თელვის მეთოდები: ნემს-ჩხვლეტითი, გაკერვითი, შეწების

მეთოდი. უკანასკნელი სიახლე ამ სფეროში გასული საუკუნის 90-იან წლებში დაფიქსირდა, როდესაც შეიქმნა თექის ახალი სახეობა- ნუნო თექა [6].

დროთა განმავლობაში მნიშვნელოვნად გაიზარდა თექის ნაწარმის ფუნქციონალური, სამომხმარებლო და ესთეტიკური მახასიათებლების მიმართ წაყენებული მოთხოვნები, რომელთა დაკმაყოფილებაც შალის ბოჭკოს ფიზიკურ - მექანიკური და კოლორისტული თვისებების ცვლილებას მოითხოვს და ამ მიზნით შემუშავებულ ახალ მეთოდებსა და ხერხებს უკავშირდება.

საგულისხმოა, რომ ფუნქციონალური, სათანადო და კარგი სამომხმარებლო მახასიათებლებისა და ესთეტიკურად მიმზიდველი თექის დამზადება კომპრომისული ამოცანის ოპტიმალურად გადაჭრას მოითხოვს. ამის მიზეზი ის არის, რომ შალის ნებისმიერი დამუშავება ბოჭკოს სტრუქტურის მეტ - ნაკლებად დაზიანებას უკავშირდება, კარგი თელვის საწინდარი კი - დაუმუშავებელი, დაუზიანებელი ბოჭკოა. ამიტომ აღნიშნული კომპრომისული ამოცანის გადაჭრისთვის სხვადასხვა გზას მიმართავენ, რომლის მიზანია ერთის მხრივ, მაქსიმალურად დაუზიანებლად შეინარჩუნოს ბოჭკოს სტრუქტურა, მეორეს მხრივ კი - ხელი შეუწყოს სასურველი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებისა და კოლორისტული მახასიათებლების მქონე ნაწარმის მიღებას.

თელვის პროცესის მიმდინარეობასა და თავად თელვის ხარისხზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს შალის ბოჭკოს თვისებები [7]. ამიტომ ვფიქრობთ, რომ შალის ბოჭკოს ფიზიკურ - მექანიკური მახასიათებლებისა და ქიმიური თვისებების ცვლილება გარკვეულ ზემოქმედებას მოახდენს თელვის შესაძლებლობასა და ხარისხზე.

**თემის აქტუალობა.** აწსუ ტექსტილის ტექნოლოგიისა და დიზაინის მიმართულების მეცნიერებისა და სპეციალისტების მიერ შემუშავებულია შალის ბოჭკოს მოდიფიცირებისა და კოლორირების ახალი უნიკალური მეთოდები [8-18]. კერძოდ, შემუშავებულია შალის ბოჭკოს მოდიფიცირების მეთოდი ბორის ნაერთების გამოყენებით. კვლევებმა აჩვენა, რომ მოდიფიცირების შემდეგ მნიშვნელოვნად იცვლება შალის ფიზიკურ - მექანიკური და სტრუქტურული თვისებები და ვინაიდან თელვის პროცესის მიმდინარეობასა და თავად თელვის ხარისხზე შალის ბოჭკოს

თვისებები მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს, შეგვიძლია ვივარაუდოთ, რომ მოდიფიცირებული შალის თელვის პროცესიც განსხვავებულად წარიმართება და შედეგად შესაძლებელი იქნება მაღალი ხარისხის ბიოდესტრუქციის მიმართ მედეგი თექის დამზადება.

ამასთან, შესწავლილია მოდიფიცირებული შალის სინთეზური საღებრებით ღებვის პროცესი და შემუშავებულია ღებვის მეთოდი. დადგენილია, რომ მიღებული შედეგილობები გაუმჯობესებული კოლორისტული და სამომხმარებლო თვისებებით გამოირჩევა. ამავე დროს ახალი მეთოდი გამორიცხავს ფერმჭერებად მძიმე მეტალების გამოყენების აუცილებლობას და პროცესი ეკოლოგიურად სუფთა და უსაფრთხოა. ვფიქრობთ, მოდიფიცირებული შალის ბუნებრივი საღებრებით (პიგმენტებით) ღებვაც ანალოგიურ კანონზომიერებებს გამოავლენს და შედეგად, ბუნებრივი საღებრებითაც შესაძლებელი იქნება კარგი კოლორისტული მახასიათებლების და მდგრადი შეფერილობების მიღება.

მნიშვნელოვანია, რომ შალის მოდიფიცირების პროცესი ტექნოლოგიური თვალსაზრისით რთული არ არის და მისი გამოყენება შესაძლებელია როგორც საწარმოო, ასევე კუსტარულ პირობებში საქმიანობისას.

მოყვანილი არგუმენტების გათვალისწინებით, მიგვაჩნია, რომ ბორის შემცველი ნაერთებით მოდიფიცირებული შალის თელვისა და ბუნებრივი საღებრებით (პიგმენტებით) კოლორირების პრობლემის კვლევა აქტუალურია, როგორც ახალი თეორიული ცოდნის, ასევე პრაქტიკული შესაძლებლობების შექმნის თვალსაზრისით.

**კვლევის მიზანი და ამოცანები.** კვლევის მიზანია მოდიფიცირებული შალის ბოჭკოს თელვისა და ბუნებრივი საღებრებით (პიგმენტებით) კოლორირების პროცესების კვლევა.

კვლევა ორი ძირითადი მიმართულებით მიმდინარეობს:

1. შალის მოდიფიკაციის ზეგავლენა უშუალოდ თელვის პროცესსა და თექის ხარისხზე;
2. შალის მოდიფიკაციის ზეგავლენა ბუნებრივი საღებრებით (პიგმენტებით) კოლორირებაზე.



კვლევის ძირითადი ეტაპები:

- შესწავლილ იქნა შალის ბოჭკოს მოდიფიცირების ზეგავლენა თელვის შესაძლებლობასა და ხარისხზე;
- დადგინდა მაღალი ხარისხის თექის ნაწარმის მისაღებად შალის ბოჭკოს მოდიფიცირებისა და კოლორირების ოპტიმალური პირობები;
- შეფასდა მოდიფიცირებული შალისგან თექის დამზადების ეკოლოგიური უსაფრთხოება და ეკონომიკური მიზანშეწონილობა.

კვლევების შედეგად მიღებულია ახალი სისტემური ცოდნა ბორის ნაერთებით მოდიფიცირებული შალის ბოჭკოს თვისებების ცვლილების, მისი გამოვლინებისა და პრაქტიკაში გამოყენების შესაძლებლობების შესახებ.

**მეცნიერული სიახლე:**

- პირველად არის შესწავლილი ბორის ნაერთებით შალის მოდიფიცირების შედეგად ბოჭკოს სტრუქტურული, ფიზიკურ - მექანიკური და დრეკად-დეფორმაციული თვისებების ცვლილების ზეგავლენა თელვის ხარისხზე;
- პირველად არის შესწავლილი შალის მოდიფიცირების ზეგავლენა თელვის პროცესსა და ხარისხზე;
- პირველად არის შესწავლილი შალის მოდიფიცირების ზეგავლენა ბუნებრივი საღებრებით (პიგმენტებით) კოლორირების პროცესსა და მიღებული შედეგების ხარისხზე;
- მათემატიკური მოდელების მეთოდის გამოყენებით პირველად არის დადგენილი შალის ბორის ნაერთებით მოდიფიცირებისა და თელვის რაციონალური პარამეტრები, რაც უზრუნველყოფს მაღალი ხარისხის თექის ნაწარმის მიღებას.

**სამუშაოს პრაქტიკული ღირებულება.** შემუშავებულია თექის დამზადების ახალი მეთოდი, რომელიც უზრუნველყოფს გაუმჯობესებული სამომხმარებლო თვისებებისა და ეკოლოგიურად უსაფრთხო მხატვრულ-ესთეტიკური ნაწარმის დამზადებას. შალის მოდიფიცირებისა და მოდიფიცირებული შალისგან თექის დამზადების ახალი მეთოდი შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას როგორც

ტექსტილის საწარმოში, ასევე დეკორატიულ-გამოყენებითი ხელოვნების მცირე სამუშაოებში.

**სამუშაოს აპრობაცია.** სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები მოხსენებული და განხილულია სამეცნიერო კონფერენციებზე ბათუმსა და ქუთაისში:

- საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენცია თემაზე: “თანამედროვე საინჟინრო ტექნოლოგიები და გარემოს დაცვა”. აწსუ, 2016.
- საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია: „კულტურა და ხელოვნება: კვლევა და მართვა“, ბათუმი. 2015 წელი, სექტემბერი.

**პუბლიკაციები.** ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მასში გამოთქმული მოსაზრებები გამოქვეყნებულია 8 სტატიაში.

**დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა.** დისერტაცია შედგება შესავლის, სამი თავის, დასკვნების, ციტირებული ლიტერატურის ნუსხისა და დანართებისგან. დისერტაციის მოცულობა შეადგენს - 102 გვერდს, 22 ილუსტრაციას, 18 ცხრილს, 101 გამოყენებული ლიტერატურის დასახელებას.

## თავი1. ლიტერატურის მიმოხილვა და ანალიზი

### 1.1. შალი – ძირითადი ნედლეული თექის წარმოებისთვის

ტრადიციული, სველი მეთოდით თელვით თექის ნაწარმის დამზადება მხოლოდ შალისგან არის შესაძლებელი. ამას ბოჭკოს ფიზიკურ-მექანიკური და ქიმიური თვისებები განაპირობებენ. ბუნებრივია, აღნიშნული თვისებების ცვლილება შალის გადამუშავების ტექნოლოგიური პროცესებსა და მისგან დამზადებული ნაწარმის თვისებებზეც გარკვეულწილად მოქმედებს. ამდენად, მიზანშეწონილად მიგვაჩნია განვიხილოთ შალის ძირითადი თვისებები, მათზე მოქმედი ფაქტორები და მათი ცვლილებით გამოწვეული შედეგები.

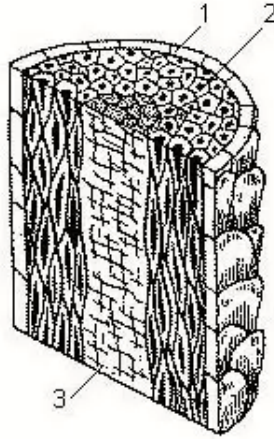
#### 1.1.1. შალის აგებულება და ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

შალი არის ცხოველთა ბეწვის საფარი, რომელსაც დართვისა და თელვის უნარი აქვს [19]. იგი ნატურალურ საფეიქრო ბოჭკოს განეკუთვნება. შალი შეიძლება იყოს ნატურალური, ქარხნული და აღდგენილი. ნატურალურია შალი, რომელიც მიიღება ცხოველთა გაკრეჭვით (ცხვარი, თხა და ა.შ.), გამოვარცხნით (აქლემის, ძაღლის, თხის, კურდღლის ბეწვი) ან შეგროვებით (ძროხის, ცხენის, კაკაჩის). ნატურალური ბოჭკო ყველაზე მაღალი ხარისხისაა. ქარხნული შალია ბეწვი, რომელიც მიიღება ტყავის დამუშავებისას მისგან მოშორებით. ის ნაკლებად მტკიცეა, ვიდრე ნატურალური. აღდგენილი შალი მიიღება საწარმოო ნარჩენების (ლოსკუტების, ნართის, ძაფების, ფთილის ნარჩენების) დაქუცმაცებით. ასეთი შალის ბოჭკო ყველაზე ნაკლებად მტკიცეა. თექის დასამზადებლად ნატურალური შალი გამოიყენება, ქარხნული და აღდგენილი შალი შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას იაფი მაუდის ქსოვილების წარმოებისათვის.

შალის ბოჭკო სამი შრისაგან შედგება (ნახ.1.1):

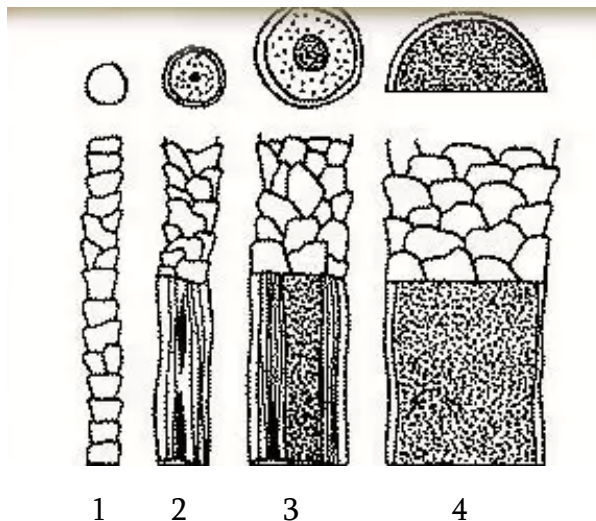
1. ქერცლოვანი (კუტიკულა) - არის გარეთა შრე, შედგება ცალკეული ქერცლებისაგან, იცავს თმის სხეულს დაშლისაგან. ქერცლის სახეობა განაპირობებს თმის ბრწყინვალეობას და მისი თელვის უნარს. სწორედ ეს შრე განაპირობებს შალის თელვის უნარს.

2. ქერქოვანი - ძირითადი შრეა, ქმნის თმის სხეულს და განსაზღვრავს მის ხარისხს.
3. შუაგული - მდებარეობს ბოჭკოს ცენტრში, შედგება ჰაერით შევსებული უჯრედებისაგან.



**ნახაზი 1.1.** შალის ბოჭკოს აგებულება: 1-კუტიკულა, 2-კორტექსი, 3- შუაგული.

შალის ბოჭკოს ცალკეულ შრეებს შორის თანაფარდობის გათვალისწინებით განასხვავებენ ოთხი ტიპის ბოჭკოს: ბეწვი (წვრილი, რბილი, ხვეული ბოჭკო, რომელსაც შუაგული არა აქვს), გარდამავალი თმა (უფრო მსხვილი და უხეში, ვიდრე ბეწვი, შუაგული ალაგ-ალაგ შეინიშნება), თავთავისა (სქელი, უხეში ბოჭკო მნიშვნელოვანი შუაგულით), მკვდარი თმა (სქელი, უხეში, სწორი, მტვრევადი ბოჭკო, რომელშიც შუაგული უდიდეს ნაწილს იკავებს) (ნახ.1.2).



**ნახაზი 1.2.** შალის ბოჭკოს განივი და გრძივი კვეთი: 1- ბეწვი, 2-გარდამავალი თმა, 3-თავთავისა, 4-მკვდარი თმა.

შალის სახეები განისაზღვრება ცხვრის თმის საფარის ბოჭკოების ტიპით. განასხვავებენ შემდეგ სახეებს: წმინდა - შედგება ბეწვის ბოჭკოებისაგან, გამოიყენება მაღალხარისხოვანი შალის ქსოვილების წარმოებისათვის, ასევე დახვეწილი და მაღალი ხარისხის თექის დასამზადებლად; ნახევრად წმინდა - შედგება გარდამავალი თმისა და ბეწვისაგან, გამოიყენება საკოსტუმე და საპალტოე ქსოვილების წარმოებისათვის; ნახევრად უხეში- შედგება გარდამავალი თმისა და თავთავისასაგან, გამოიყენება ნახევრად უხეში საკოსტუმე და საპალტოე ქსოვილების წარმოებისათვის; უხეში - შეიცავს ბოჭკოთა ყველა ტიპს, მათ შორის მკვდარ თმას, გამოიყენება ფარაჯის მაუდის, თექის, ნაბდის ჩექმების-ბაგვების დასამზადებლად.

ბოჭკოების გარეგნული სახის მიხედვით შალი შეიძლება იყოს: მქრქალი, მოყვითალო-თეთრი ფერიდან შავამდე (რაც უფრო სქელია ბოჭკო, მით უფრო მუქია ბოჭკო). შალის ფერს განსაზღვრავს ქერქოვან შრეში პიგმენტის-მელანინის არსებობა. ღებვისათვის თეთრი მატყლის გამოყენება უფრო მოსახერხებელია.

თელვის უნარი განპირობებულია შალის ბოჭკოს ზედაპირზე ქერცლის არსებობით, რომელიც ხელს უშლის ბოჭკოს ქერცლის საწინააღმდეგოდ გადაადგილებას. თელვის საუკეთესო თვისებებით ხასიათდება წვრილი დრეკადი ხვეული ბოჭკო.

შალი ნელა იწვის, ალიდან გამოტანისას თავად ქრება, ახასიათებს დამწვარი რქის სუნი, ნარჩენი არის შავი ფხვიერი მსხვრევადი ნაცარი.

ქიმიური შემადგენლობით შალის ბოჭკოს ბუნებრივ ცილას განეკუთვნება და ძირითადი შემადგენელია ცილა - კერატინი.

შალზე ქიმიური რეაგენტების ზემოქმედება სხვადასხვაგვარია. კონცენტრირებული ცხელი გოგირდმჟავას მოქმედებისას იგი იშლება, ორგანული მჟავები არ აზიანებენ. იხსნება ტუტეების განზავებულ ხსნარებში. დუდილისას შალი იშლება 2%-იან ნატრიუმის ტუტეში განზავებული მჟავების ზემოქმედებისას (10%-მდე) შალის ბოჭკოს სიმტკიცე გარკვეულწილად იზრდება. კონცენტრირებული აზოტმჟავას ზემოქმედებისას შალი ყვითლდება, არ იხსნება ფენოლსა და აცეტონში.

შალს გააჩნია მთელი კომპლექსი მახასიათებლებისა, რომლებიც მის ფიზიკურ-მექანიკურ და ტექნოლოგიურ თვისებებს განაპირობებს. ძირითად

ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს განეკუთვნება: სიგრძე, სისქე, კლასილობა, სიმტკიცე, ჭიმვადობა, ფერი, ბრწყინვალება, დრეკადობა, ელასტიურობა და პლასტიკურობა. თელვის უნარი ტექნოლოგიურ თვისებებს განეკუთვნება. არსებობს გარკვეული კორელაცია ტექნოლოგიურ და ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს შორის. ამ მოსაზრების გათვალისწინებით, მიზანშეწონილია შალის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების განხილვა. საწარმოო დანიშნულებით შალი ცხვრის, თხის, აქლემისა და კურდღლის ბეწვისგან მიიღება.

*სისქე (სიწმინდე)* შალის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი თვისებაა. სისქეში იგულისხმება ბოჭკოს განივი კვეთის დიამეტრი. სისქე გამოისახება მიკრომეტრებში (მკმ). შალის ბოჭკოს სისქე დამოკიდებულია ცხოველის ჯიშზე, კვების პირობებსა და საკვებზე, ცხოველის სქესზე, ასაკსა და ინდივიდუალურ თავისებურებებზე. რაც უფრო წვრილია შალის ბოჭკო, მით უფრო კარგად ითელება იგი. შალის სიწმინდის მიხედვით კლასიფიკაცია მოცემულია ცხრილში 1.1.

ცხრილი 1.1.

შალის კლასიფიკაცია სიწმინდის მიხედვით

შალის ტიპი	სიწმინდის კლასი	შალის სიწვრილე, მკმ
ექსტრა წმინდა	80	14,5 – 18,14
სუპერ წმინდა	70	18,15 – 20,59
წმინდა	64	20,6 – 22,04
ნახევრად წმინდა	62	22,05 – 23,49
ნახევრად წმინდა	60	23,5 – 24,94
ნახევრად წმინდა	58	24,95 – 26,39
ნახევრად წმინდა	56	26,40 – 27,84
ნახევრად წმინდა	54	27,85 – 29,29
ნახევრად წმინდა	50	29,3 – 30,99
უხეში	48	31,0 – 32,69
უხეში	46	32,7 – 34,39
უხეში	44	34,4 – 36,19
ძალიან უხეში	40	36,2 – 38,09
ძალიან უხეში	36	38,10 – 40,2
ძალიან უხეში	32	> 40,20

*შალის სიგრძე* უმნიშვნელოვანესი თვისებაა, რომელიც განსაზღვრავს მის სამრეწველო დანიშნულებას, ამავე დროს სელექციისთვის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი

მახასიათებელია. სიგრძის მაჩვენებელი განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია წმინდა და ნახევრად წმინდა შალისათვის. განასხვავებენ თმის სიგრძეს ხვეულ და გაშლილ მდგომარეობაში. ყველაზე გრძელი ბეწვი 40 სმ და მეტი აქვს გრძელთმიან სახორცე (ლინკოლნი) და ზოგიერთ უხეშბეწვიან (კარპატის მთის) ჯიშებს; მოკლე ბეწვი (4-7 სმ.) - წმინდაბეწვიან და ზოგიერთ უხეშბეწვიან ჯიშებს. შალის ბოჭკოს სიგრძე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს თელვის ხარისხზე - გრძელი ბოჭკო უკეთ ითელება.

*შალის სიმტკიცე.* შალის სიმტკიცეში იგულისხმება ბოჭკოების გამძლეობა (წინააღმდეგობა) გაგლეჯაზე. მასზეა დამოკიდებული ბოჭკოთა სიმტკიცე პირველადი გადამუშავებისას, ასევე ნაკეთობის მოხმარების ხანგრძლივობა. სიმტკიცეც, ისევე როგორც ყველა მახასიათებელი, დამოკიდებულია ინდივიდუალურ თვისებებსა და მოვლის პირობებზე. ბუნებრივია, მტკიცე ბოჭკო უკეთ ითელება.

*შალის ხვეულობა (კლაკნილობა).* ხვეული თმა დამახასიათებელია ცხვრის მატყლისათვის. იგი გარკვეულ კავშირშია ბოჭკოს სისქესთან. ეს თვისება განაპირობებს ბოჭკოს დრეკად თვისებებს. იგი ახასიათებს წმინდა და ნახევრადწმინდა ბოჭკოებს და იცავს მატყლს მასში მექანიკური მინარევებისა და ატმოსფერული ნალექების მოხვედრისგან. გამოირჩევა კლაკნილობის სამი ფორმა: ნორმალური, ბრტყელი და მაღალი. რაც უფრო კლაკნილია ბოჭკო, მით უფრო უკეთ ითელება.

*შალის პლასტიკურობა* არის ბოჭკოს თვისება ზემოქმედების შემდეგ შეიცვალოს ფორმა და შეინარჩუნოს იგი. მაღალი პლასტიკურობა ახასიათებს ბოჭკოებს, რომელთაც ამორფული უბნის (გამა-კერატოზა) მაღალი ხვედრითი წილი აქვთ და თიროზინს შეიცავენ. პლასტიკური ბოჭკო უკეთ ითელება.

*შალის ფერი* განპირობებულია ქერქოვან შრეში პიგმენტის-მელანინის შემცველობით. ძირითადი ფერებია: თეთრი, შავი და წითური. საწარმოო დანიშნულებით, ძირითადად, თეთრი მატყლი გამოიყენება, ვინაიდან შესაძლებელია მისი ღებვა სხვადასხვა ფერში. ბოჭკოს ბუნებრივი ფერი მისი კოლორირების შესაძლებლობას განაპირობებს.

*ცხიმისა და ოფლის ნარევი* ცხიმოვანი და საოფლე ჯირკვლების სეკრეციის შედეგია. ცხიმოვანი ჯირკვლები წარმოქმნიან ცვილს, რომელიც წარმოადგენს პირველადი და მეორადი რთული ესტერების, მაღალმოლეკულური სპირტების, მაღალმოლეკულური და მცირე რაოდენობით დაბალმოლეკულური ცხიმოვანი მჟავების ნარევს. შალის ცხიმი არ შეიცავს გლიცერინის ესტერებს, რაც როგორც ცნობილია, ნებისმიერი ცხიმის შემადგენელი კომპონენტია. ცხიმი მნიშვნელოვან როლს თამაშობს შალის ბოჭკოს ფიზიკური თვისებების შენარჩუნებაში. იგი თხელი ფენის სახით ეკვრის გარს ბოჭკოს, უზრუნველყოფს მათ შეწებებას, შტაპელებისა და წნულების წარმოქმნას და ერთიანობაში მკვრივი თმის მიღებას. გარდა ამისა, ცხიმი იცავს ბოჭკოს მექანიკური, მინერალური და მცენარეული მინარევების მოხვედრისაგან, მზის მავნე რადიაციისა და ნალექების ზემოქმედებისაგან. ცვილის დამცავი თვისებები მნიშვნელოვნად განაპირობებს შალის ხარისხს.

საოფლე ჯირკვლების სეკრეციის შედეგად გამოიყოფა ოფლი, რომელიც შეიცავს არაორგანული (მარილმჟავა, გოგირდმჟავა, ფოსფორმჟავა) და ორგანული (რძემჟავა, ცხიმმჟავა) მჟავების მარილებს, ოლეინისა და სტეარინის მჟავების კალიუმის მარილებს, კალციუმის, ნატრიუმის, მაგნიუმის, რკინის, ალუმინის კარბონატებს, ქლორიდებს, ფოსფატებსა და ასევე მცირე რაოდენობით აზოტშემცველ ნივთიერებებს. აღნიშნული თვისებები შალის მომზადებისა და კოლორირების პროცესს განაპირობებენ.

*შალის დართვისა და თელვის უნარი* გარეგნული ნიშნებით არ ხასიათდება და განისაზღვრება ყველა ზემოთ განხილული ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ერთიანობით. თუმცადა, აღნიშნულ თვისებებს შორის არსი განმსაზღვრელი და პრიორიტეტული; დართვის უნარის შეფასებისას ეს არის ნართის სიწმინდე, თელვის უნარისათვის - ბოჭკოს ქერცლოვანი შრე, დრეკად-დეფორმაციული თვისებები და კლაკნილობა. თელვის პროცესის კვლევისა და ინტენსიფიცირებისთვის სწორედ შალის თვისებებითა და აღნიშნული ფაქტორებით ხდება ოპერირება.



### 1.1.2. შალის დამუშავების მიზნით წარმოებული კვლევების ანალიზი

შალის განხილული ფიზიკურ-მექანიკური და ქიმიური თვისებები განაპირობებს ბოჭკოს გადამუშავების ტექნოლოგიური პროცესების მიმდინარეობას და დამზადებული ნაწარმის სამომხმარებლო თვისებებს. შალის ტექნოლოგიური და ექსპლოატაციური თვისებების გაუჯობესება შესაძლებელია ბოჭკოს მოდიფიცირებით, რაც ხორციელდება ფიზიკურ-მექანიკური, ფიზიკურ-ქიმიური, ქიმიური, ბიოქიმიური დამუშავების გზით. აღნიშნული მიზნით კვლევები მთელს მსოფლიოში აქტიურად მიმდინარეობს.

კვლევებით ნაჩვენებია, რომ შალის ბოჭკოზე ფიზიკურ-მექანიკური და ფიზიკურ-ქიმიური ზემოქმედებისას, შესაძლოა მიღწეულ იქნას როგორც ბოჭკოს ზედაპირის სტრუქტურული ცვლილება, ასევე ქიმიური მოდიფიცირებაც, რაც გავლენას ახდენს შალის სამომხმარებლო თვისებებსა და ღებვის უნარზე. შალის ბოჭკოს ზედაპირის მოდიფიკაციის ერთ-ერთი პერსპექტიული მიმართულებაა ელექტროფიზიკური მეთოდები, რაც ითვალისწინებს ბოჭკოზე ელექტრომაგნიტური ველის, ლაზერის, დაბალტემპერატურული პლაზმის ზემოქმედებას [20-23]. კვლევებით ნაჩვენებია, რომ პლაზმაში შალის დამუშავებით შესაძლებელია მიღწეულ იქნას ღებვის უნარიანობის გაუმჯობესება [24]. მნიშვნელოვანი დადებითი თვისებები ენიჭება ბოჭკოს ელექტროგანმუხტვითი არაწრფივი მოცულობითი კავიტაციის მეთოდის გამოყენებით დამუშავებისას. მოდიფიცირების აღნიშნული მეთოდების გამოყენებისას ხდება ბოჭკოს ზედაპირული (ქერცლოვანი) შრის მოდიფიცირება, რის შედეგადაც შალი ხდება ნაკლებადშეკლებადი და ნაკლებად ითელება [25-27]. შალის პირველადი გადამუშავებისას ზებგერთი მოწყობილობის გამოყენებისას, მნიშვნელოვნად იზრდება შალის ნედლეულის მინარევებისაგან გასუფთავების ეფექტურობა [28]. ულტრაბგერთი ზემოქმედებისას უმჯობესდება შალის ბოჭკოს მდგრადობა თერმული ზემოქმედებისადმი, იზრდება სიმტკიცე და წყლის შთანთქმის უნარი, იცვლება ბოჭკოს ზედაპირის მორფოლოგია [29]. კვლევების ნაწილი ეძღვნება შალის პირველადი დამუშავებისას ბოჭკოს ხარისხზე ტემპერატურისა და ტენიანობის ზეგავლენის კვლევას [30]. პოზიტიურ ზეგავლენას

ახდენს შალის ღებვის უნარზე ულტრაიისფერი გამოსხივებისა და ოზონის ზემოქმედება [31].

შალის ბოჭკოს დამუშავება სხვადასხვა ნივთიერებაში ქიმიურ მოდიფიკაციას იწვევს, რის შედეგადაც შესაძლებელია შეიცვალოს ბოჭკოს ზედაპირული სტრუქტურა, ასევე ქიმიური თვისებები, მათ შორის ღებვის უნარი. ტუტის შემცველ მიკროემულსიაში დამუშავებისას იცვლება შალის ზედაპირული სტრუქტურა (კუტიკულის შრე), რის შედეგადაც მცირდება შეკლებადობა, უმჯობესდება ჰიდროფილური თვისებები, ღებვის სიჩქარე და ზოგადად ღებვისუნარიანობა [32]. რიგი ქიმიური ნაერთების (მესამ-ბუტოქსიდი, მესამ-ბუტანოლი, ჰიდროქსიამინის წყალხსნარი, კალიუმის მეთნოლური ჰიდროჟანგი) ნარევისა და პლაზმაში დამუშავების ან 18-მეთილეიკოსანოიკის მჟავასა და ჰიდროქსილამინში მოდიფიცირების შემდეგ, შალის ბოჭკოს ზედაპირს სცილდება ლიპიდური შრე, რის შედეგადაც ცილოვანი სტრუქტურა, აქტიური რეაქციისუნარიანი ქიმიური ჯგუფების - კარბოქსილი, ამინო, თიოლური და ა.შ., მისაწვდომი ხდება როგორც სხვადასხვა მოლეკულების (მათ შორის საღებრების), ასევე ნანო ნაწილაკებისთვის [33-34]. შალის პირველადი დამუშავებისას CO<sub>2</sub>/ეთანოლისა და CO<sub>2</sub>/მეთანოლის ნარევი ბოჭკოს ცვილოვანი და ცხიმოვანი მინარევებისგან გასუფთავების ხარისხი საკმაოდ მაღალია, რაც შემდგომი ღებვის უნარისა და შეღებილობის ხარისხის გაუმჯობესებაში ვლინდება [35]. კვლევებით ნაჩვენებია, რომ გოგირდოვანი საღებრებით შავ ფერში შალის ღებვის პროცესის ინტენსიფიცირება შესაძლებელია ბორის ჰიდრიდისა და ნატრიუმის ბიკარბონატის გამოყენებით [36]. შალის ცივი ღებვის ტექნოლოგია ბოჭკოს წყალბადის ზეჟანგში წინასწარ დამუშავებას ითვალისწინებს. ეს ხელს უწყობს ღებვის პროცესის ეფექტურობის ამაღლებას, თუმცადა, აზიანებს ბოჭკოს და მნიშვნელოვნად აუარესებს ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს [37].

უკანასკნელ პერიოდში ბოჭკოების ზედაპირის მოდიფიკაციის მიზნით ფართოდ გამოიყენება ბიოქიმიური (ფერმენტული) მეთოდები, რომლებიც დამუშავების „რბილ“ პირობებს უზრუნველყოფენ და შესაბამისად, ბოჭკოს სტრუქტურისა და სიმტკიცის მახასიათებლების შენარჩუნების საშუალებას იძლევიან

[38-42]. რიგი კვლევებით ნაჩვენებია, რომ შალის თვისებებისა და მახასიათებლების შეცვლის მიზნით, ფერმენტები გამოიყენება როგორც დამოუკიდებლად, ასევე სხვადასხვა ნაერთთან ერთად. ფერმენტებში დამუშავება შესაძლებელია განხორციელდეს როგორც ცნობილი ხერხებით, ასევე არატრადიციულ ხერხებთან (ულტრაბგერა, ზეკრიტიკული სითხეები, პლაზმა) ერთად [43-46]. რიგ კვლევებში ნაჩვენებია, რომ ენზიმების გამოყენებით შესაძლებელია ეპიკუტიკულის მოდიფიცირება და შედეგად, შეკლების შემცირება, ღებვის უნარის გაუმჯობესება, ლიპაზების გამოყენებით - ცხიმის მოცილება და ბოჭკოს შემადგენელი ცილის რეაქციისუნარიანობის ამაღლება [47-48]. არის მონაცემები, რომლებიც აჩვენებენ, რომ შალის ღებვის პროცესში ენზიმებს შეუძლიათ დამხმარე მასალების ფუნქციის შესრულება [49-50].

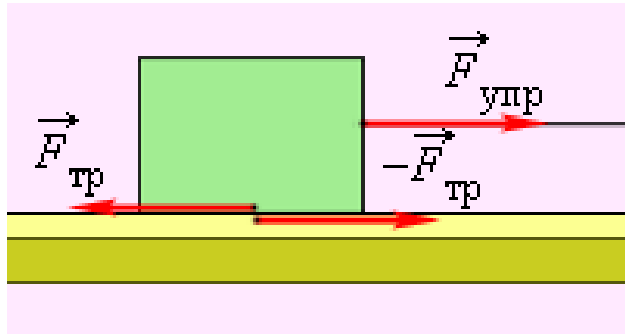
## 1. 2. თელვის პროცესი და მისი განმსაზღვრელი ფაქტორები

შალის თელვის უნარს განაპირობებს: ერთი, ბოჭკოს ქერცლოვანი შრე, რომელიც ხახუნის კოეფიციენტის უთანაბრობას განაპირობებს (ხახუნის კოეფიციენტი მეტია ფუძისკენ და ნაკლებია წვეროსკენ) და უზრუნველყოფს ბოჭკოს მიმართულ გადაადგილებას; მეორე, დრეკად-ელასტიური თვისებები, რაც ხელს უწყობს ბოჭკოების ურთიერთგადახლართვას და შემდგომ გარკვეულ პირობებში (ტენიანობა, ტემპერატურა, მჟავა ან ტუტე გარემო) მექანიკური ზემოქმედებისას - შეკლებას. თელვის აღნიშნული პირობების მართვა თავად პროცესის რეგულირების საშუალებას იძლევა. თელვისას კუპიურის შეკლება 80-90% ფარგლებშია, შედეგად იზრდება ნაწარმის სიმჭიდროვე და სიმტკიცე. მაქსიმალური სიმჭიდროვე, რომლის მიღწევაც შესაძლებელია თელვისას 0,55 გ/სმ<sup>3</sup>-ია. სიმჭიდროვის შემდგომი ზრდა, ბოჭკოების ზღვრული დამაბულობის გამო, ნაწარმის რღვევას იწვევს [51-52]. საგულისხმოა, რომ საუკეთესო თელვის უნარით ხასიათდება წვრილი, დრეკადი და ძლიერ კლავნილი ბოჭკო.

### 1.2.1. თელვისას ბოჭკოზე მოქმედი ძალები და დეფორმაციები

ტრადიციული თელვა არის მექანიკური პროცესი, რომლის დროსაც თბილ საპნიან წყალში დასველებულ ბოჭკოზე ხდება ძალისმიერი ზემოქმედება - ჰორიზონტალურად დაფენილი ბოჭკოვანი შრის პერპენდიკულარულად ან დახვეული რულონის წინსვლით-უკუსვლითი მოძრაობის მხების გასწვრივ. ამ დროს ბოჭკოებზე მოქმედი ხახუნის ძალის შედეგად ხდება მათი ურთიერთგადახლართვა და ერთიანი ურღვევი ტილოს ფორმირება. ბოჭკოვან მასალაზე ზემოქმედება შეიძლება განხორციელდეს ხელით ან მექანიკური მოწყობილობების გამოყენებით. ჰორიზონტალურად დაფენილ ბოჭკოვან შრეზე ხელით თავისუფალი მოძრაობისას ან ვიბრო მანქანის გატარებისას, ბოჭკოვან შრეებზე გარეგანი ძალა მოქმედებს ვერტიკალურად, ხოლო რულონად დახვეული ბოჭკოვანი მასალის გორვისას ან ჰორიზონტალურად დაფენილ შრეზე ლილვის გადატარებისას - გარეგანი ძალა მოქმედებს მოძრაობის მიმართულებით მხების გასწვრივ. ვინაიდან თექის ნაწარმის ფორმირება ხახუნის ძალის შედეგია, მიზანშეწონილად მიგვაჩნია ხახუნის ძალისა და ამ დროს აღძრული დეფორმაციების განხილვა [53-56].

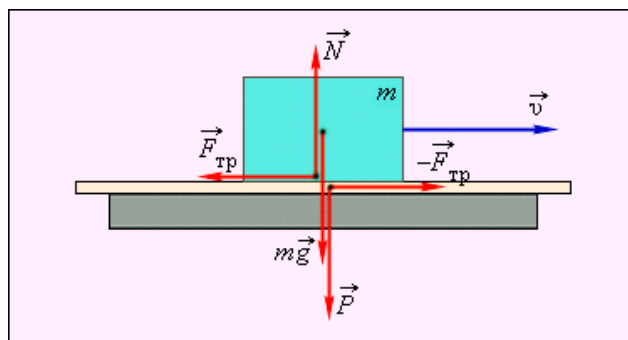
ხახუნი – სხეულების ურთიერთქმედების ერთ–ერთი სახეა. იგი ორი სხეულის შეხებისას აღიძვრება. ურთიერთქმედების სხვა სახეების მსგავსად, ხახუნი ნიუტონის მესამე კანონს ექვემდებარება: თუ ერთ–ერთ სხეულზე მოქმედებს ხახუნის ძალა, მოდულით ისეთივე და საწინააღმდეგოდ მიმართული ძალა მოქმედებს მეორე სხეულზეც. ხახუნის ძალებს, დრეკადობის ძალების მსგავსად, ელექტრომაგნიტური ბუნება აქვთ. ისინი შეხებაში მყოფი სხეულების ატომებისა და მოლეკულების ურთიერთქმედების შედეგად აღიძვრებიან. როდესაც მყარ სხეულებს შორის სითხის ან გაზის ფენა არაა, მათი შეხებისას აღძრულ ძალებს მშრალი ხახუნის ძალები ეწოდება. ისინი ყოველთვის შემხები ზედაპირების მხების გასწვრივ არიან მიმართული. მშრალ ხახუნს, რომელიც სხეულების ფარდობითი უძრაობის დროს აღიძვრება, უძრაობის ხახუნი ეწოდება. უძრაობის ხახუნის ძალა სიდიდით ყოველთვის გარე ძალის ტოლია და საწინააღმდეგო მხარესაა მიმართული (ნახ.1.3).



**ნახაზი 1.3.** უძრავ სხეულზე მოქმედი ძალები ( $v = 0$ ).

უძრაობის ხახუნის ძალა არ შეიძლება აღემატებოდეს რაღაც მაქსიმალურ მნიშვნელობას  $(F_{\text{ხხ}})_{\text{max}}$ . თუ გარე ძალა მეტია  $(F_{\text{ხხ}})_{\text{max}}$ -ზე, წარმოიქმნება ფარდობითი გაცურება. ხახუნის ძალას ამ შემთხვევაში სრიალის ხახუნის ძალას უწოდებენ. იგი ყოველთვის მოძრაობის საწინააღმდეგოდაა მიმართული და ზოგადად სხეულის ფარდობით სიჩქარეზეა დამოკიდებული. დაკვირვება აჩვენებს, რომ სრიალის ხახუნის ძალა სხეულის საყრდენზე ნორნალური წნევის პროპორციულია  $F_{\text{ხხ}} = (F_{\text{ხხ}})_{\text{max}} = \mu N$ .

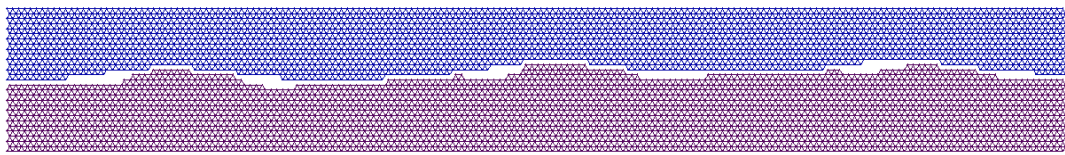
$\mu$  პროპორციულობის კოეფიციენტს სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი ეწოდება. ხახუნის  $\mu$  კოეფიციენტს განზომილება არ აქვს. ჩვეულებრივ ხახუნის კოეფიციენტი ერთზე ნაკლები სიდიდეა. ის შეხებაში მყოფი სხეულების მასალაზე და ზედაპირის დამუშავების ხარისხზეა დამოკიდებული. სრიალისას ხახუნის ძალა შემხები ზედაპირის მხების გასწვრივაა მიმართული, ფარდობითი სიჩქარის საპირისპიროდ (ნახ. 1.4). საგულისხმოა, რომ სრიალის ხახუნის დროს ხახუნის ძალა დრეკადობის ძალის ტოლია.



**ნახაზი 1.4.** ხახუნის ძალა სრიალისას ( $v \neq 0$ ).

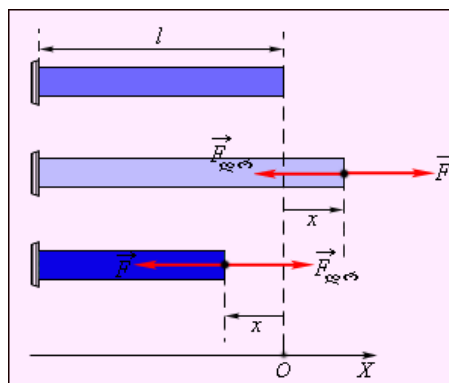
სითხეში ან აირში მყარი სხეულის მოძრაობისას სველი (ბლანტი) ხახუნის ძალა აღიძვრება. სველი ხახუნის ძალა გაცილებით ნაკლებია მშრალი ხახუნის

ძალაზე. ისიც ფარდობითი სიჩქარის საპირისპიროდაა მიმართული. სველი ხახუნისას უძრაობის ხახუნს ადგილი არ აქვს. სველი ხახუნის ძალა დიდადაა დამოკიდებული სხეულის სიჩქარეზე. საკმარისად მცირე სიჩქარეებისათვის  $F_{\text{ხ.ხ.}} \sim v$ , დიდი სიჩქარეებისათვის კი  $F_{\text{ხ.ხ.}} \sim v^2$ . ამასთან, პროპორციულობის კოეფიციენტი ამ დამოკიდებულებებში სხეულის ფორმაზეა დამოკიდებული. ვინაიდან თელვა სველ გარემოში მიმდინარეობს, ბოჭკოებს შორის სწორედ სველი ხახუნის ძალა აღიძვრება და მისი მნიშვნელობა თელვის სიჩქარესა და ინტენსივობაზე (თელვის ციკლი) იქნება დამოკიდებული (ნახ 1.5).



**ნახაზი 1.5.** ბოჭკოს ფენებისა და სველი გარემოს განლაგება თელვისას.

მნიშვნელოვანია განვიხილოთ დეფორმაციის ის სახეებიც, რომლებიც მოქმედებენ ბოჭკოვან მასალასა და ბოჭკოებზე თელვის პროცესში სველი ხახუნის ზემოქმედების შედეგად. თელვის პროცესში უპირატესი მნიშვნელობა ენიჭება გაჭიმვა-კუმშვის დეფორმაციას. სხეულის დეფორმაციისას აღიძვრება ძალა, რომელიც სხეულის ფორმისა და ზომების აღდგენას ცდილობს. ეს ძალა ნივთიერების ატომებისა და მოლეკულების ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების შედეგად აღიძვრება. მას დრეკადობის ძალას უწოდებენ. დრეკადობის სახე, რომელიც თელვის პროცესში აღიძვრება გაჭიმვისა და შეკუმშვის დეფორმაციაა (ნახ. 1.6).



**ნახაზი 1.6.** გაჭიმვისა ( $x > 0$ ) და შეკუმშვის ( $x < 0$ ) დეფორმაცია.

შინაგანი ძალა

მცირე  $\vec{F} = -\vec{F}_{\text{ელ}}$  დეფორმაციებისთვის ( $|x| \ll l$ ) დრეკადობის ძალა

სხეულის დეფორმაციის პროპორციულია და დეფორმაციის დროს სხეულის ნაწილაკების გადაადგილების საპირისპიროდაა მიმართული:

$$F_{\text{დრ}} = -kx.$$

ეს ტოლობა ექსპერიმენტულად დადგენილ ჰუკის კანონს გამოსახავს.  $k$  კოეფიციენტს სხეულის სიხისტე ეწოდება. SI სისტემაში სიხისტე იზომება ნიუტონი მეტრებში (ნ/მ). სიხისტის კოეფიციენტი სხეულის ფორმაზე, ზომებზე და აგრეთვე, სხეულის მასალაზეა დამოკიდებული. გაჭიმვისა და შეკუმშვის დეფორმაციისთვის ჰუკის კანონის ჩაწერა სხვანაირადაა მიღებული. ფარდობას  $\varepsilon = x/l$  ფარდობითი დეფორმაცია ეწოდება, ხოლო ფარდობა  $\sigma = F/S = -F_{\text{დრ}}/S$ , სადაც  $S$  – დეფორმირებული სხეულის განივი კვეთაა, დამაბულობა ეწოდება. მაშინ ჰუკის კანონი შეიძლება ასე ჩამოყალიბდეს: ფარდობითი დეფორმაცია დამაბულობის

$$\varepsilon = \frac{1}{E}\sigma.$$

პროპორციულია:

სადაც  $E$  იუნგის მოდულია. იუნგის მოდული მხოლოდ მასალის თვისებებზეა დამოკიდებული და არაა დამოკიდებული სხეულის ფორმასა და ზომებზე.

ამრიგად, მასალის დრეკად-დეფორმაციული თვისებების, კერძოდ, გაჭიმვა-კუმშვის დეფორმაციის შესწავლა და მისი მართვა მოდიფიცირებული შალის თელვის პროცესის რაციონალური პირობების განსაზღვრისა და შემუშავების საშუალებას მოგვცემს.

### 1.2.2. თელვის კვლევის მიმართულებით წარმოებული სამუშაოების ანალიზი

კაცობრიობის მიერ თელვის გამოყენების ათასწლოვანი გამოცდილების მიუხედავად, თავად პროცესის კვლევა აქტუალობას არ კარგავს. თელვის პროცესის ხარისხის გაუმჯობესებისა და ინტენსიფიცირების მიზნით კვლევები გასული საუკუნეშიც აქტიურად მიმდინარეობდა [57-58] და დღემდე დღის წესრიგშია. ეს

ერთის მხრივ, შალის თვისებების მოდიფიცირებას, მეორეს მხრივ კი, - თავად პროცესის ტექნოლოგიური პარამეტრების კვლევასა და მართვას უკავშირდება. პარალელურად მიმდინარეობს კვლევები თელვის უნარის შემცირების მიზნითაც, რაც ასევე პროცესის კვლევას ითვალისწინებს [59-60]. კვლევებით ნაჩვენებია, რომ თელვის პროცესის მიმდინარეობაზე გარდა ბოჭკოს თვისებებისა, მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს: ტემპერატურა, ტენიანობა, გარემოს pH, დამხმარე ქიმიური ნივთიერებების გამოყენება [57]. შესწავლილია ჭრიალას მეშვეობით ბოჭკოებს შორის ფრიქციული კონტაქტის წარმოქმნის ზეგავლენა თელვის ხარისხზე [58]. საგულისხმოა, რომ ბოჭკოს თვისებებისა და ხარისხის თელვის პროცესზე ზეგავლენის კვლევას კვლავინდებურად დიდი ყურადღება ეთმობა [61]. კვლევების ნაწილი შალის თელვის უნარის გაუმჯობესების მიზნით, სხვადასხვა ნაერთში მათ დამუშავებას მიმართავს. ნაჩვენებია, რომ კალიუმის იოდატისა და ნატრიუმის ქლორატის ხსნარებში დამუშავება თელვის უნარის გაუმჯობესებას იწვევს, თუმცადა, აუცილებელია კონცენტრაციების სწორად შერჩევა, რათა ადგილი არ ექნეს ბოჭკოს დესტრუქციას [62]. ინდოელი მკვლევარების მიერ შესწავლილია შალის თვისებების ზეგავლენა ტექნიკური დანიშნულების თექის დამზადების პროცესზე [63]. როგორც მიმოხილვიდან ჩანს, თელვის პროცესის კვლევა არ კარგავს აქტუალობას, რადგან კვლავაც გრძელდება მუშაობა შალის ბოჭკოს სხვადასხვა გზით (ქიმიური რეაგენტებით, ფიზიკურ-მექანიკური ზემოქმედებით) მოდიფიკაციის მიზნით და თავად ტექნოლოგიური პროცესში თანამედროვე მიღწევების გამოყენების მიმართულებით. ჩვენს მიერ წარმოდგენილ კვლევაში გამოყენებულია ქიმიური გზით მოდიფიცირებული შალის ბოჭკო, რომელიც განსხვავებული ფიზიკურ-მექანიკური და ქიმიური თვისებებით ხასიათდება. ამდენად, მისი თელვის უნარის კვლევა მიზანშეწონილად მიგვაჩნია.



### **1.3. ბუნებრივი საღებრებით (პიგმენტებით) ღებვა**

თექის ნაწარმის ხარისხს, თელვის ხარისხთან ერთად, მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს ნაწარმის კოლორისტული გაფორმება (შეღებლობის ხარისხი და მხატვრულ-ესთეტიკური მიმზიდველობა). შალის ღებვისთვის ფართოდ გამოიყენება სინთეზური საღებრები, თუმცაღა, უკანასკნელ პერიოდში დეკორატიული თექის ნაწარმის პოპულარობის ზრდის კვალობაზე, გაიზარდა მოთხოვნა ბუნებრივი პიგმენტებით შეღებულ ბოჭკოზე. ამ ტენდენციას ეკოლოგიური ტექსტილის პოპულარობის ზრდაც განაპირობებს. წარმოდგენილი კვლევის ერთ-ერთი ძირითადი მიმართულება მოდიფიცირებული შალის ბუნებრივი საღებრებით (პიგმენტებით) ღებვის პროცესის კვლევაა.

#### **1.3.1. ბუნებრივი საღებრებით (პიგმენტებით) ღებვის თავისებურებანი**

ბუნებრივი საღებრები უხსოვარი დროიდან არის ცნობილი. მათ ფართოდ გამოიყენება ჰპოვეს მანუფაქტურული წარმოების განვითარების პერიოდში და უდიდესი მნიშვნელობა ჰქონდათ XIX საუკუნის მეორე ნახევრამდე. იმ დროისათვის ბუნებრივი საღებრები ღებვისათვის ერთადერთ საშუალებას წარმოადგენდნენ. სინთეზური საღებრების გაჩენამ ბუნებრივი პიგმენტები პრაქტიკულად განდევნა საწარმოო სფეროდან [64]. თუმცაღა, უკანასკნელ პერიოდში, ეკოლოგიურად სუფთა პროდუქციის პოპულარობასთან ერთად, მნიშვნელოვნად გაიზარდა ბუნებრივი პიგმენტებისადმი ინტერესი და მათზე მოთხოვნა.

ბუნებრივი საღებრები (პიგმენტები) არის ორგანული ნივთიერებები, რომელთაც ცოცხალი ორგანიზმები გამოიმუშავენ და რომლებიც ფერს აძლევენ ცხოველთა და მცენარეთა უჯრედებსა და ქსოვილებს.

ბუნებრივი საღებრები ბუნებაში ფართოდ არის გავრცელებული და ფერთა პალიტრაც ფართოა. თუმცაღა, განსაკუთრებით დიდი რაოდენობით ისინი მცენარეებში გვხვდებიან.

მცენარეული საღებრები იყო ერთ-ერთი პირველი საღებარი, რომლის გამოყენებაც დაიწყო ადამიანმა საკუთარი თავის, სამუშაო იარაღის, საცხოვრებლისა და ჩასაცმელის გასალამაზებლად. თავდაპირველად ეს იყო ყვავილის ფურცლების, ფოთლების და ნაყოფების წვენი, რომელიც ადამიანის ყურადღებას მისი კაშკაშა შეფერილობის გამო იპყრობდა. შემდგომში ადამიანმა ისწავლა საღებრების მიღება ფესვებისა და ქერქისაგან.

ბუნებრივ საღებრებს, მათ მიერ შექმნილი ფერთა ტონებისა და ნახევრად ტონების მრავალფეროვნების და მრავალრიცხოვნობის გათვალისწინებით, არც კონკურენტი და არც ბადალი მოეძებნება. ბუნებაში მცენარეული პიგმენტები ისეთ ღრმა და მსუბუქ ფერებს იძლევიან, რომ მაღალი ინტენსივობის პირობებშიც კი ჰარმონიულად გამოიყურებიან. ცხრილში 1.2. მოცემულია სხვადასხვა მცენარისაგან პიგმენტებისა და შეფერილობის მიღების პირობები [65].

მცენარეული ბუნებრივი საღებრების მისაღებად ძირითადად გამხმარი მცენარეები გამოიყენება. შრობა ხდება ჩრდილში, ღია ჰაერზე, გაფენილ თოვზე ან ტილოზე (არ შეიძლება შრობა მზეზე ან ღუმელში).

ცხრილი 1.2.

**მცენარეებისგან პიგმენტებისა და შეფერილობის მიღების პირობები**

მცენარე	შეგროვების დრო	ფერმჭერი	მიღებული ფერი
არყის ფოთლები Betulaceae	გაზაფხულის I ნახევარი	შემდგომი ფერჭერა- კალიუმის ბიქრომატი,	ზეთისხილის ფერი
		წინასწარი- შაბი	ღია ყვითელი
ცაცხვის ჩამოცვენილი ფოთლები Tilia caucasica	შემოდგომა	წინასწარი-შაბიამანი	ყვითელი
ჭადრის ჩამოცვენილი ფოთლები Platanus	შემოდგომა	წინასწარი-რკინის აჯასპი	მეწამული, ყვითელი
ვერხვის ჩამოცვენილი ფოთლები Populus	შემოდგომა	წინასწარი-შაბიამანი,	ყავისფერი
		წინასწარი-შაბიამანი,	მწვანე
		ერთდროული-რკინის აჯასპი	ლურჯი
თხმელა, გირჩები Alnus	გაზაფხული, ფოთლების გამოღებამდე	ერთდროული- შაბიამანი,	ყავისფერი
		შემდგომი-რკინის აჯასპი	შავი

ნაძვის წიწვები ახალი გირჩები, ძველი გირჩები <i>Picea</i>	გაზაფხული, გაზაფხული, ზაფხული	ერთდროული- შაბიამანი,	მწვანე
		ერთდროული-შაბი,	ხორცისფერი, ყავისფერი
		ერთდროული-შაბი	ყვითელი
ტყის ვაშლის ჩამოცვენილი ფოთლები	შემოდგომა	ერთდროული- შაბიამანი,	მოყავისფერო- ყვითელი
		წინასწარი-შაბი	მუქი წითელი
ტყის ვაშლის ჩამოცვენილი ფოთლები და გამხმარი თავშავა <i>Malus orientalis</i> Uglitz, <i>origanum vulgare</i> L	შემოდგომა	შემდგომი-კალიუმის ბიქრომატი	მუქი ჟოლოსფერი
შოთხვის მწიფე ნაყოფი <i>Prunus padus</i> გადამწიფებელი ნაყოფი	ზაფხული	ფერმჭერის გარეშე	წითელი
	ზაფხული	წინასწარი-შაბიამანი	ყვითელი
ბროწეულის ქერქი <i>Punica granatum</i>	შემოდგომა	შემდგომი-შაბიამანი	მოყავისფრო
მჟაუნას ფესვები, ფოთლები <i>Rumex acetosa</i>	გაზაფხული	ერთდროული- კალიუმის ბიქრომატი	ალუბლისფერი
თავშავა <i>Origanum vulgare</i> L	ყვავილობისას	ფერმჭერის გარეშე,	ვარდისფერი
		წინასწარი-შაბიამანი	შავი
აბზინდა <i>Artemisia absinthium</i> L.	ზაფხული	ერთდროული-შაბი,	ლიმონისფერი
		შემდგომი-კალიუმის ბიქრომატი	მწვანე
თხაწართსალას ყვავილები <i>Onagraceae</i>	ზაფხული	ფერმჭერის გარეშე	ღია წითელი
სანთელა <i>Melampyrum</i>	ზაფხული	ერთდროული-შაბი,	იისფერი
		ფერმჭერის გარეშე	ვარდისფერი
ფასმანდუკი <i>Achillea millefolium</i> L.	ზაფხულის I ნახევარი	წინასწარი-შაბიამანი,	ყვითელი
		შემდგომი-ბიქრომატი	მწვანე
დიდილოს ყვავილი L. <i>Centaurea depressa</i>	ყვავილობისას	ერთდროული-რკინის აჯასპი,	მონაცრისფერო- ცისფერი
		მჟავე ექსტრაქტი	ლურჯი
ენდროს ფესვები <i>Rubia</i>	გაზაფხული		შინდისფერი
ზაფრანა (შაფრანი) <i>Iridaceae</i>	ყვავილობისას		ნარინჯისფერი, წითელი
ზაფრანა (ყვითელი ყვავილი) <i>Crocus</i>	ყვავილობისას		ყვითელი
კალენდულა <i>Calendula officinalis</i>	ყვავილობისას		ყვითელი
წიწიბურას ფოთლები <i>Fagopyrum</i>	ზაფხული		მუქი ლურჯი (ინიგო)
სალბის ყვავილები <i>Salvia</i>	ყვავილობისას		მუქი ლურჯი
მუხის ქერქი <i>Quercus cortex</i>	ზაფხული	მჟავე ექსტრაქტი	ყავისფერი

ანწლის ნაყოფი Sambucus	ზაფხული		წითელი, შავი
ხახვის გამხმარი ფურცლები Allium	შენახვისას	მჟავე ექსტრაქტი	მოყვითალო- ყავისფერი

ბუნებრივი საღებარი შესაძლოა მიღებულ იქნას მცენარის ფესვების, ღეროების, ქერქის, ფოთლების, ყვავილების ან ნაყოფისაგან. მცენარის ქიმიური შემადგენლობა ბევრად არის დამოკიდებული მის ასაკზე, სიმაღლეზე, ნიადაგის შემცველობასა და მდებარეობაზე, ვეგეტაციის პერიოდში ამინდის პირობებსა და მცენართა შეგროვების დროზე. ფოთლებისა და ყვავილების შეგროვება ხდება კვირტების გაშლისთანავე (ვინაიდან ნორჩი ყლორტები უფრო ინტენსიურ ფერს იძლევა, ვიდრე ზრდასრული ფოთოლი), ქერქის-გაზაფხულზე, როცა იგი იოლად სცილდება, ფესვი-ან ყვავილობამდე, ან შემოდგომაზე. ცოცხალი მცენარეებისაგან მიღებული შეფერილობები უფრო კაშკაშა და ინტენსიურია, ვიდრე გამხმარისაგან. მცენარის გახმობა უნდა მოხდეს ბნელ ადგილას, რათა შენარჩუნებულ იქნას ფერის ბუნებრივი ელფერი. ფესვები გახმობამდე უნდა გაირეცხოს. გამხმარი მცენარეები შეიძლება შეინახოს დახურულ ჭურჭელში, ბელელში ჭერქვეშ ან საცხოვრებელ სახლში მშრალ ადგილას.

ტრადიციული, პრიმიტიული მეთოდით სამღებრო ხსნარის მისაღებად მცენარის ფოთლები, ღეროები, ფესვები, ყვავილები, ნაყოფი, გირჩები, ქერქი ან თესლი ერთი დღე-ღამის განმავლობაში უნდა ჩაღებეს ცივ რბილ წყალში. შემდეგ მცენარეს ადუღებენ იმავე წყალში 15-20 წუთის განმავლობაში. 100 გრამ მცენარეზე იღებენ 1-2 ლიტრ წყალს. მიღებულ ნაყენს გადაწურავენ სამღებრო ჭურჭელში. საღებრის მთლიანად გამოყოფის მიზნით მცენარეს ისევ ადუღებენ 1-2 ლიტრ წყალში 15-20 წუთის განმავლობაში და მიღებულ ნაყენს უმატებენ პირველად გამოღებულ ნაყენს. შემდეგ ცხელ ნაყენს ფილტრავენ და აცივებენ. ღებვისას უფრო ინტენსიური მოქმედებისთვის საღებრის ნაყენს აჩერებენ ასამჟავებლად.

მასალაზე მღებავი ნივთიერების დასამაგრებლად იყენებენ დამამაგრებელს-ფერმჭერს. ისინი შეიძლება იყოს ქიმიური (კალიუმისა და ალუმინის სულფატის ორმაგი მარილის კრისტალჰიდრატი  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ , შაბიამანი- სპილენძის (II) სულფატის კრისტალჰიდრატი  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ) ან ბუნებრივი (ჭიანჭველამჟავა, მჟავე

კომბოსტოს წვენი და ა.შ.). ფერმჭერი შეღებილობას რეცხვის და სინათლის მიმართ მედეგობას ანიჭებს. შაბი ნათელი და სუფთა ფერების, მათ შორის ყვითელი და სპილოს ძვლისფერის, მიღების საშუალებას იძლევა. უფრო იშვიათად გამოიყენება სპილენძის სულფატი ანუ შაბიამანი, უმეტესად ყვითელი, მწვანე, ყავისფერის მისაღებად; რკინის სულფატი  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  - რუხი და მორუხო, მოყავისფრო-მწვანე, მოწითალო-ყავისფერი შეფერილობების მისაღებად; კალიუმის ბიქრომატი ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) - მოყვითალო-მდოგვისფერი, მწვანე, სპილოსძვლისფერი, ყავისფერი შეფერილობების მისაღებად; ღვინის მჟავა - სპილოსძვლისფერი და ღია ყავისფერი შეფერილობების მისაღებად. შეღებილობის დამამაგრებლებლად გამოიყენება ასევე მარილი, ძმარი, არყის ხის ფისი. ნარევეს ასხამენ 20 ლიტრ მდულარე წყალს, ურევენ და როცა ხსნარი გაგრილდება ოთახის ტემპერატურამდე, გამჭვირვალე ხსნარს ასხამენ მეორე ჭურჭელში.

ერთიდაიგივე მცენარეული საღებარი სხვადასხვა დამამაგრებლის გამოყენებისას სხვადასხვა ფერს იძლევა. ფერმჭერის რაოდენობის ზრდა შეფერილობის გამუქებას უწყობს ხელს. ფერმჭერში დამუშავების სამი ხერხი არსებობს.

*ფერმჭერში წინასწარი დამუშავება.* ქიმიურ ნივთიერებებს ხსნიან წყალში. მასალას ათავსებენ ფერმჭერის  $40^\circ\text{C}$ -იან ხსნარში და ადულებენ 15-20 წუთის განმავლობაში, პერიოდულად ურევენ. შემდეგ იღებენ ხსნარიდან და აწდობენ. შემდეგ ბოჭკოს ათავსებენ საღებრის ცივ ნაყენში, აცხელებენ, ადულებენ 45-60 წუთი. ბოჭკოს გაწურვა არ შეიძლება, რათა შეღებილობა არ აჭრელდეს.

*ღებვასთან ერთად დამუშავება.* მოხერხებული და გავრცელებული ხერხია. სამღებრო ხსნარში მასალის შეტანამდე მასში ხსნიან ფერმჭერს. ხსნარში ათავსებენ სუფთა სველ მასალას. ხსნარის ადულებამდე მასალას მუდმივად აბრუნებენ, შემდეგ კი- პერიოდულად. ადულებენ 45-60 წუთის განმავლობაში.

*ღებვის შემდგომი დამუშავება.* მასალას ადულებენ სამღებრო ხსნარში დაახლოებით 1 საათის განმავლობაში. შემდეგ იღებენ, ამატებენ ხსნარში ფერმჭერს და ადულებენ შესაღებ მასალას კიდევ 30 წუთის განმავლობაში.

ღებვის შემდეგ ამოწმებენ შეფერილობას. თუ საჭიროა შეღებილობის იტენსივობის მომატება, მღებავ ნივთიერებას ამატებენ, ან უფრო დიდხანს ღებავენ მასალას. ფერის გამუქება შეიძლება, თუ მასალას გაურეცხავად გავაშრობთ და კიდევ ერთხელ შევღებავთ იმავე ხსნარში. ასე შეიძლება რამდენჯერმე გავიმეოროთ სასურველი ფერის მიღებამდე.

ღებვის შემდეგ მასალას ავლებენ ცივ წყალში. თელვის თავიდან ასაცილებლად ჭმუჭვნა და წურვა არ შეიძლება. ამის შემდეგ მასალას ღებავენ თბილ საპნთან ხსნარში და 3-4-ჯერ ავლებენ თბილ წყალში. ზოგიერთ მცენარეში შეღებილი მასალა რეცხვის შემდეგ ელფერს იცვლის. მატყლის შრობა რეკომენდებულია თბილ და არა ცხელ გარემოში. ცივი გარემო მას აუხეშებს.

ბუნებრივი პიგმენტებით სხვადასხვა ბოჭკოვანი მასალის ღებვის კვლევების მიზნით სამუშაოები მრავალ სამეცნიერო-კვლევით ცენტრში წარმოებს.

### **1.3.2. ბუნებრივი საღებრებით (პიგმენტებით) ღებვის სფეროში წარმოებული კვლევების ანალიზი**

ეკოლოგიურ ტექსტილზე მოთხოვნის ზრდამ დღის წესრიგში დააყენა ბუნებრივი პიგმენტებისაკენ შემობრუნების აუცილებლობის საკითხი. ამდენად, კვლევის აღნიშნული მიმართულებაც აქტუალური გახდა. სხვადასხვა კვლევით ლაბორატორიებში ახალი შემართებით იკვლევენ ბამბის, აბრეშუმის, შალის ნატურალური პიგმენტებით ღებვის პროცესებს [66]. ხურმისაგან მიღებულ პიგმენტში ბამბისა და შალის ღებვის კვლევამ აჩვენა, რომ შალი უკეთ იღებება, ვიდრე ბამბა. ამასთან, ღებვის ინტენსივობა იზრდება პიგმენტის კონცენტრაციისა და ღებვის დროის ზრდის კვალობაზე [67]. შავი ბრინჯის ექსტრაქტში შალისა და ბამბის ღებვის კვლევამ აჩვენა, რომ ღებვის შემდეგ მიღებული მოწითალო-ყავისფერი შეღებილობა გამოირჩევა ქიმიკატებისა და რეცხვისადმი მდგრადობის უფრო მაღალი მაჩვენებლით, ვიდრე სხვა პიგმენტებით მიღებული შეღებილობები. ამასთან, შალი ანტიბაქტერიულ და ანტიოქსიდანტურ თვისებებსაც იძენს [68]. ყავის ექსტრაქტში შალის ღებვისას მიიღება მუქი ყავისფერი შეღებილობა. ღებვის პროცესის კვლევის

შედეგად დადგენილ იქნა, რომ მიღებული შედეგილობა გამოირჩევა განსაკუთრებით მაღალი მედეგობით საპონ-სოდის ხსნარში რეცხვისა და სინათლის ზემოქმედების მიმართ. ამასთან, შეღებილი შალის მასალას ახასიათებს ჟანგის პროცესებისა (86%) და უი გამოსხივების (98%) ბლოკირების უნარი [69]. ბუნებრივ კონგო წითელ საღებარში შაბიამნის თანაობისას ღებვის შედეგად მიღებულ იქნა მასალა, რომელიც ამავდროულად მადეზედორილებელი ეფექტით ხასიათდება და სუნის შთანთქმის უნარი აქვს [70].

წარმოდგენილი კვლევის ფარგლებში შესწავლილ იქნა ბუნებრივი საღებრებით (ენდრო, კურკუმა, ჰიბისკუსი, ხახვის ფურცელი) ბორის ნაერთებით პიგმენტებით მოდიფიცირებული შალის ღებვის პროცესი. განსაზღვრულ იქნა ღებვაზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორების (ღებვის გარემო, დრო, ტემპერატურა) რაციონალური მნიშვნელობები, შესწავლილ იქნა მიღებული შედეგილობების კოლორიმეტრული მახასიათებლები და სამომხმარებლო თვისებები.

## თავი 2. მეთოდური ნაწილი

### 2.1 კვლევის ობიექტები და დამხმარე მასალები

წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომის კვლევის ობიექტია შალის გამოხარშული, კარბონიზირებული ფთილა და ნართი.

თელვის პროცესის მოდელირებისას გამოყენებულ იქნა მერინოსის გამოყვანილი და გამოთეთრებული ქარხნული წარმოების ფთილა.

კვლევის პროცესში გამოყენებულ იქნა ენდროს, ხახვის ფოთლის, კურკუმას გამოხარშვით მიღებული ბუნებრივი საღებრები - პიგმენტები.

შალის ბოჭკოს მოდიფიცირების მიზნით გამოყენებულ იქნა ბორის შემცველი ნაერთები პირობითი აღნიშვნით - მოდიფიკატორი A და მიდიფიკატორი B.

ბოჭკოს მოდიფიკატორში დამუშავება წარმოებდა სამღებრო აბაზანაში მოთავსებულ ქიმიურ ჭიქებში ტემპერატურის რეგულირებით.

ბუნებრივი პიგმენტებით ღებვა წარმოებდა სამღებრო აბაზანაში მოთავსებულ უკუმაცივრებიან ქიმიურ კოლბებში ღებვის ტემპერატურის რეგულირებით. ღებვა წარმოებდა პერიოდული ხერხით [71].

სამღებრო ხსნარის მომზადების ხერხი: მცენარე ერთი დღე-ღამის განმავლობაში ჩავალბეთ ცივ რბილ წყალში. შემდეგ ვადუღეთ იმავე წყალში 15-20 წუთის განმავლობაში. 100 გრამ მცენარეზე ვიღებთ 1-2 ლიტრ წყალს. მიღებულ ნაყენი გადავწურეთ სამღებრო ჭურჭელში. საღებრის მთლიანად გამოყოფის მიზნით ნაყენი ისევ ვადუღეთ 1-2 ლიტრ წყალში 15-20 წუთის განმავლობაში და მიღებული ნაყენი დავუმატეთ პირველად გამოღებულ ნაყენს. შემდეგ ცხელი ნაყენი გავფილტრეთ და გავააცივეთ.

### 2.2. თელვის ხარისხისა და მახასიათებლების კვლევა

#### 2.2.1. დეფორმაციული თვისებების კვლევა

დრეკად-ელასტიური და პლასტიკური თვისებები შესწავლილ იქნა სრული ფარდობითი დეფორმაციის განსაზღვრით [72].



## 2.2.2. ბოჭკოს კლაკნილობისა და ზედაპირული სტრუქტურის კვლევა

ბოჭკოს კლაკნილობა შეფასდა ვიზუალურად ლუპით (4-ჯერადი გადიდება) დაკვირვებისას. ზედაპირული სტრუქტურის შესწავლა განხორციელდა ელექტრო მიკროსკოპის Human.Scope Premium (Human GmbH) გამოყენებით ოკულარით 10X20, ობიექტივებით PL 40/0,65 და PL100/1,25.

## 2.2.3. კუპიურის ფართობის ცვლილების კვლევა

კვლევისათვის საჭირო კუპიურების დასამზადებლად გამოყენებულ იქნა ტრაფარეტი ზომით 16 სმ X 16 სმ. ფართობის ცვლილება განისაზღვრა ფორმულით:

$$\Delta S = (S_0 - S) / S_0 * 100\% \quad [72].$$

თელვა წარმოებდა კუპიურის თითოეული გვერდის პერპენდიკულარული მიმართულებით (200-200 და 100-100 ციკლით) 2-ჯერ წაღმა და 2-ჯერ უკუღმა მხიდან.

## 2.2.4. სიმჭიდროვის (1სმ<sup>2</sup>-ის წონა) ცვლილების კვლევა

ნაწარმის ფარდობითი მასა ხასიათდება მოცულობითი ერთეული წონით. თუ სწორკუთხა ნიმუში ზომით L x B და S სმ-ს სისქით იწონის G გრ-ს, მაშინ:

$$\text{მოცულობითი წონა} - \delta = \frac{G}{LBS} [\text{გ/სმ}^3] \quad [72].$$

## 2.3. ბოჭკოს შეღებილობის მახასიათებლების ცვლილებების კვლევა

### 2.3.1. სამღებრო ხსნარიდან საღებრის ამოკრებისა და ფიქსაციის ხარისხის განსაზღვრა

სამღებრო ხსნარიდან საღებრის ამოკრების ხარისხი განისაზღვრა საწყისი

ხსნარისა და ლეზვის შემდეგ დარჩენილი ხსნარის კოლორიმეტრების გზით ფოტოელექტროკოლორიმეტრზე KΦK-2 [73].

საღებრის ფიქსაციის ხარისხის განსაზღვრა მოხდა ნარჩენი აბაზანისა და რეცხვის შემდეგ მიღებული ხსნარის ნარევის კოლორიმეტრებით და შესაბამისი ფარდობითი შთანთქმის (გმკ) ფუნქციების ფარდობით:

$$\Phi = \frac{K/S_{\text{ნარევი}}}{K/S_{\text{ნარევი}}} \cdot 100\% [73].$$

### 2.3.2. შეღებილობის მდგრადობის განსაზღვრა

შეღებილი ქსოვილების მშრალი და სველი ხახუნის მიმართ მდგრადობა განისაზღვრა „Eko-tex standard 100“-ის მიხედვით.

- შეფერილობის მდგრადობა რეცხვის მიმართ EN ISO 105-C06
- შეფერილობის მდგრადობა სინათლის მიმართ EN ISO 105-B02: 2002 + A1

შეღებილი ნიმუშების სინათლის მიმართ მდგრადობა განისაზღვრა ბუნებრივ პირობებში (3 თვის განმავლობაში) სინათლის ზემოქმედების (დასხივების) შემდეგ საკვლევი ნიმუშების შეფერილობის ცვლილების შეფასებით 8 ბალიანი სისტემით ლურჯი სკალის ეტალონებთან შედარებით.

შეღებილობის მდგრადობა საპონ-სოდიანი ხსნარის მიმართ განისაზღვრა ცნობილი მეთოდიკით [71, 72] .

### 2.3.3. შეღებილობის ინტენსივობის განსაზღვრა

შეღებილი მასალის ფერის ინტენსივობა ბოჭკოზე - I საღებრის კონცენტრაციის პროპორციულ კოლორიმეტრულ სიდიდეს წარმოადგენს.

$$I = a \cdot C$$

ჩვენს მიერ წარმოდგენილი გაანგარიშებები გურევიჩ-კუბელკი-მუნკის ფუნქციის გამოყენებით განხორციელდა, რომელიც მათემატიკურად ასე გამოისახება:

$$K/S = aC = \frac{(1 - \rho)^2}{2\rho} - \frac{(1 - \rho_0)^2}{2\rho_0}$$

[73].

სადაც K- მასალის მიერ სინათლის შთანთქმის კოეფიციენტი,  
 S-სინათლის გაბნევის კოეფიციენტი,  
 ρ-არეკვლის კოეფიციენტი, რომელიც განვსაზღვრეთ ირიბი მეთოდით  
 გატარების კოეფიციენტის (τ) გამოყენებით.

#### 2.4. ანტიმიკრობული თვისებებისა და ბიოდესტრუქციისადმი მდგრადობის კვლევა

ბოჭკოს ანტიმიკრობული თვისებები და ბიოდესტრუქციისადმი მდგრადობის შეფასებისათვის გამოყენებულ იქნა ვიზუალური დაკვირვების მეთოდი. დესტრუქციის შეფასება მოხდა 5 ბალიანი სისტემით [74].

#### 2.5. ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმარება

მოდელიზირებული შალის თელვის რაციონალური პარამეტრების შემუშავების მიზნით გამოყენებულ იქნა მეორე რიგის ორფაქტორიანი ექსპერიმენტის როტატაბელური დაგეგმარების მეთოდი [75].

### თავი 3. ექსპერიმენტული ნაწილი

კვლევის მიზანს წარმოადგენს მოდიფიცირებული ეკო შალის თელვის პროცესის კვლევა. კვლევის საგანია:

- შალის ბოჭკოს მოდიფიცირების ზეგავლენა თელვის პროცესსა და სამღებრო ხსნარებიდან საღებრის ამოკრებისა და ბოჭკოზე მათი ფიქსაციის ხარისხზე, რაც გამოხატულებას ჰპოვებს თექის სიმჭიდროვისა და მიღებული შედეგილობების კოლორიმეტრული მახასიათებლებისა და სხვადასხვა ზემოქმედების მიმართ (მშრალი და სველი ხახუნი, რეცხვა) მდგრადობის მაჩვენებლების ცვლილებაში;
- მოდიფიცირებული შალის ფიზიკურ-მექანიკური და საექსპლოატაციო თვისებების ცვლილებების, თელვისა და ბუნებრივი საღებრებით (პიგმენტებით) ღებვის ტექნოლოგიური პროცესების მიმდინარეობის კვლევა რაციონალური, ეკოლოგიურად უსაფრთხო და ეკონომიკურად მიზანშეწონილი ტექნოლოგიური რეჟიმების შემუშავების მიზნით.

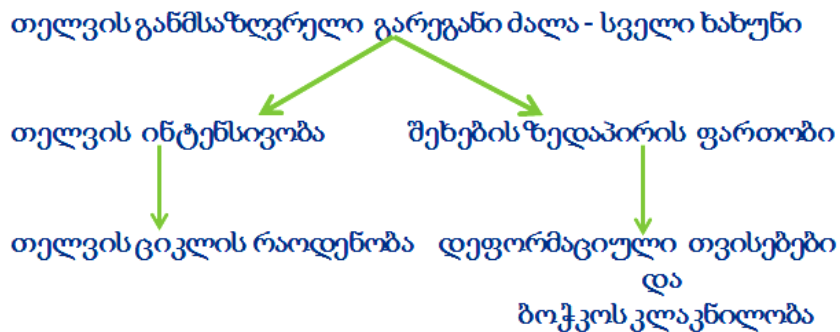
თეჯა ერთ-ერთი უძველესი ტექსტილური ნაწარმია და მისი დამზადების ტექნოლოგია უძველესი დროიდან მოყოლებული კარგად არის დამუშავებული. ცნობილია, რომ შალის თელვის უნარს მისი ბოჭკოს სტრუქტურა, კერძოდ, ქერცლოვანი ზედაპირი განაპირობებს. სწორედ, აღნიშნული სტრუქტურის მეშვეობით, ხახუნისა და გაჭიმვის-შეკუმშვის დეფორმაციის პროცესში, ადგილი აქვს ბოჭკოების ურთიერთგადახლართვას, რის შედეგადაც ერთიანი ურღვევი ტილო მიიღება.

თელვის საუკეთესო მახასიათებლები დაუმუშავებელ ბუნებრივ შალს გააჩნია. თუმცადა, სხვადასხვა დანიშნულების ტექნიკური ან დეკორატიული თექის ნაწარმის დამზადებისას შალის ბოჭკო ტექნოლოგიურ დამუშავებას ან გარკვეულ ფიზიკურ-ქიმიურ ზემოქმედებას განიცდის, რაც მისი ფიზიკურ-მექანიკური და ქიმიური თვისებების ცვლილებას იწვევს. შედეგად, ნებისმიერი დამუშავება ზეგავლენას ახდენს შალის ბოჭკოს თელვის უნარზე. ამიტომ მოდიფიცირებული ან რაიმე სახით დამუშავებული შალის ბოჭკოს თელვის პროცესში გამოყენება თელვის პროცესის კვლევისა და შესწავლის საკითხს კვლავაც აქტუალურს ხდის.

თექის მასალის დანიშნულებიდან გამომდინარე, ბოჭკოს მოდიფიკაციის ან სხვადასხვა ნივთიერებებით მისი დამუშავების მიზანი შესაძლოა იყოს მისი ფიზიკურ-მექანიკური ან კოლორიტული თვისებების ცვლილება, რასაც შედეგად მოჰყვება ნაწარმის ტექნიკური და კოლორიმეტრული მახასიათებლების ცვლილება. მთლიანობაში თექის ხარისხი უშუალოდ თელვისა და მხატვრული კოლორირების ხარისხით განისაზღვრება, რაც თავის მხრივ, ნაწარმის ფერადოვნებას და შეღებილობის მდგრადობას გულისხმობს. ამდენად, მიზანშეწონილად ჩავთვალეთ კვლევის სწორედ ამ ორი ძირითადი მიმართულებით განხორციელება.

### 3.1. მოდიფიცირებული შალის თელვის პროცესის კვლევა

თელვა ტექსტილური მასალის ისეთი მექანიკური დამუშავებაა, რომლის დროსაც შალის ბოჭკო გარეგან ფიზიკურ-მექანიკურ ზემოქმედებას განიცდის. კერძოდ, თელვის პროცესის განმსაზღვრელი მთავარი მამომრავებელი ძალა მასალაზე მოქმედი ხახუნის ძალა, კერძოდ, სველი ხახუნის ძალა.



ხახუნის ძალა, თავის მხრივ, დამოკიდებულია თელვის ინტენსივობასა და შეხების ზედაპირის ფართობზე. თელვის ინტენსივობა შესაძლებელია ვცვალოთ თელვის სიჩქარის ან თელვის ციკლის რაოდენობის ცვლილებით.

ხახუნისას შეხების ზედაპირის ფართობი დამოკიდებულია ბოჭკოს ფიზიკურ-მექანიკურ მახასიათებლებზე, როგორცაა ზედაპირული სტრუქტურა (ქერცლოვანი შრის არსებობა), კლაკნილობა და დრეკად-დეფორმაციული თვისებები.

წინასწარმა ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ შალის ბოჭკოს მოდიფიცირების შედეგად, თელვის პროცესის განმსაზღვრელი, სამივე ფიზიკურ-მექანიკური

მახასიათებელი იცვლება. ამდენად, კვლევის პირველი ეტაპის მთავარ ამოცანას თელვის პროცესზე შალის ბოჭკოს მოდიფიცირების ზეგავლენის კვლევა წარმოადგენს.

### **3.1.1. შალის ბოჭკოს მოდიფიცირების ზეგავლენის კვლევა თელვის ხარისხზე**

თელვის პროცესის განმსაზღვრელი ბუნებრივი მახასიათებელია შალის ბოჭკოს ზედაპირული სტრუქტურა, რასაც მისი შემადგენელი ბუნებრივი ცილოვანი პოლიმერის - კერატინის ფორმირების პროცესი განსაზღვრავს. თუ გავითვალისწინებთ, რომ მოდიფიკატორებში დამუშავებისას მოდიფიკატორებსა და კერატინს შორის ურთიერთქმედება ცილის პირველადი სტრუქტურის დონეზე - ამინომჟავების ჯაჭვში ელექტრონების მონაწილეობით ხორციელდება, ბუნებრივია, ეს პროცესი გავლენას იქონიებს ცილის მოლეკულის უფრო მაღალი დონის სტრუქტურების ფორმირებაზე, რაც შემდგომ გამოხატულებას ჰპოვებს პოლიმერის ზედაპირული სტრუქტურის ცვლილებაში. შედეგად, მოდიფიცირებული შალის ბოჭკოს თელვის უნარიც განსხვავებული უნდა იყოს. აღნიშნული მოსაზრება დადასტურებულ იქნა კვლევის შედეგად.

შესწავლილ იქნა თელვის პროცესის მიმდინარეობა და მიღებული თექის ხარისხი მოდიფიცირებისათვის გამოყენებული მოდიფიკატორების კონცენტრაციასა და თელვის ინტენსივობასთან კორელაციურ დამოკიდებულებაში. მოდიფიკატორებში დამუშავება ორი ხერხით განხორციელდა: თელვამდე და თელვის პროცესში. თელვის ხარისხის განმსაზღვრელ პარამეტრად შეჩეულ იქნა თექის სიმჭიდროვე (გრ /სმ<sup>3</sup>), ხოლო თელვის პროცესის ეფექტურობის შეფასება განხორციელდა სიმჭიდროვის მაჩვენებლის ფარდობითი ცვლილებით (სიმჭიდროვის ცვლილების სიჩქარით). თელვის საერთო ინტენსივობა შეადგენდა 2400 ციკლს. 200-200 და 100-100 ციკლით თელვა განხორციელდა ნიმუშის ოთხივე გვერდის პერპენდიკულარული მიმართულებით და ნიმუშის წადმა (1200 ციკლი) და უკუღმა (1200 ციკლი) მხრიდან.

ცხრილში 3.1 და ცხრილში 3.2 მოცემულია მოდიფიკატორებში A და B წინასწარ დამუშავებული შალისაგან დამზადებული თექის სიმჭიდროვის მაჩვენებლები. კვლევის შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ როგორც მოსალოდნელი იყო, თელვის ინტენსივობის (თელვის ციკლის რაოდენობა) ზრდა, თექის სიმჭიდროვის ზრდას იწვევს. ამასთან, თელვის საწყის ეტაპზე სიმჭიდროვის მაჩვენებლის ზრდა უფრო სწრაფად ხდება, ხოლო თელვის დასასრულისკენ (მეოთხე სტადია) შემჭიდროვების სიჩქარე მცირდება. ეს ბუნებრივიცაა, ვინაიდან თელვის პროცესი უსასრულოდ ვერ გაგრძელდება. გარკვეულ ეტაპზე მასალის სტრუქტურა სტაბილიზირდება და შემჭიდროვების პროცესიც მინიმალიზირდება.

რაც შეეხება შალის თელვის უნარის მოდიფიკატორის კონცენტრაციაზე დამოკიდებულებას, ცხრილიდან 3.1 და ცხრილიდან 3.2 ჩანს, რომ შალის დამუშავებისას 0,5% მოდიფიკატორებში, თექის სიმჭიდროვე აღემატება სტანდარტული (დაუმუშავებელი) ნიმუშის სიმჭიდროვეს. თელვის ინტენსივობის ზრდისას შალის თელვის უნარი მდორედ იზრდება. ამასთან, თელვის სიჩქარის მაჩვენებლები, პრაქტიკულად, ერთნაირია. მოდიფიკატორის კონცენტრაციის ზრდა თელვის პროცესის აჩქარებას იწვევს. თუმცადა, თექის სიმჭიდროვის საბოლოო მაჩვენებელი ნაკლებია, ვიდრე სტანდარტულისა. კვლევის შედეგების საფუძველზე შეიძლება ითქვას, რომ თელვის საუკეთესო თვისებები ახასიათებს 0,5% - 1% მოდიფიკატორში დამუშავებულ შალს. თელვის ხარისხი, რაც გამოიხატება თექის სიმჭიდროვეში, მოდიფიკატორში A დამუშავებისას 7,57% -13,90% -ით იზრდება, მოდიფიკატორში B დამუშავებისას - 9,0% -13,94%-ით.

ცხრილი 3.1

**მოდიფიკატორში A წინასწარ დამუშავებული შალისაგან დამზადებული თექის სიმჭიდროვის მაჩვენებელი**

საწყისი ნიმუშის სიმჭიდროვე, გრ /სმ <sup>3</sup>	თელვის ინტენსივობა, (ციკლი)	თელვის მიმართულება ნიმუშის კიდეებთან მიმართებაში	სიმჭიდროვე, გრ /სმ <sup>3</sup>			
			მოდიფიკატორის კონცენტრაცია, %			
			0	0,5	1,0	2,0
9,76	წაღმა მხარე 200 ციკლი	I	31,84	34,87	37,83	27,34
		II	36,34	35,84	40,07	29,65
		III	36,73	38,48	42,76	30,07

		IV	37,29	38,46	43,67	30,45
უკანა მხარე 200 ციკლი		I	43,26	40,95	44,65	34,65
		II	43,91	46,62	48,58	35,56
		III	48,1	47,44	50,85	35,10
		IV	46,62	47,38	52,02	39,17
წალმა მხარე 100 ციკლი		I	59,4	58,12	58,84	46,20
		II	60,46	63,35	62,99	50,05
		III	64,1	65,10	64,46	50,12
		IV	64,1	64,13	66,11	52,18
უკანა მხარე 100 ციკლი		I	65,23	75,75	68,43	55,44
		II	70,39	78,20	73,49	61,77
		III	72,62	78,14	74,38	64,38
		IV	73,81	79,48	84,07	72,59

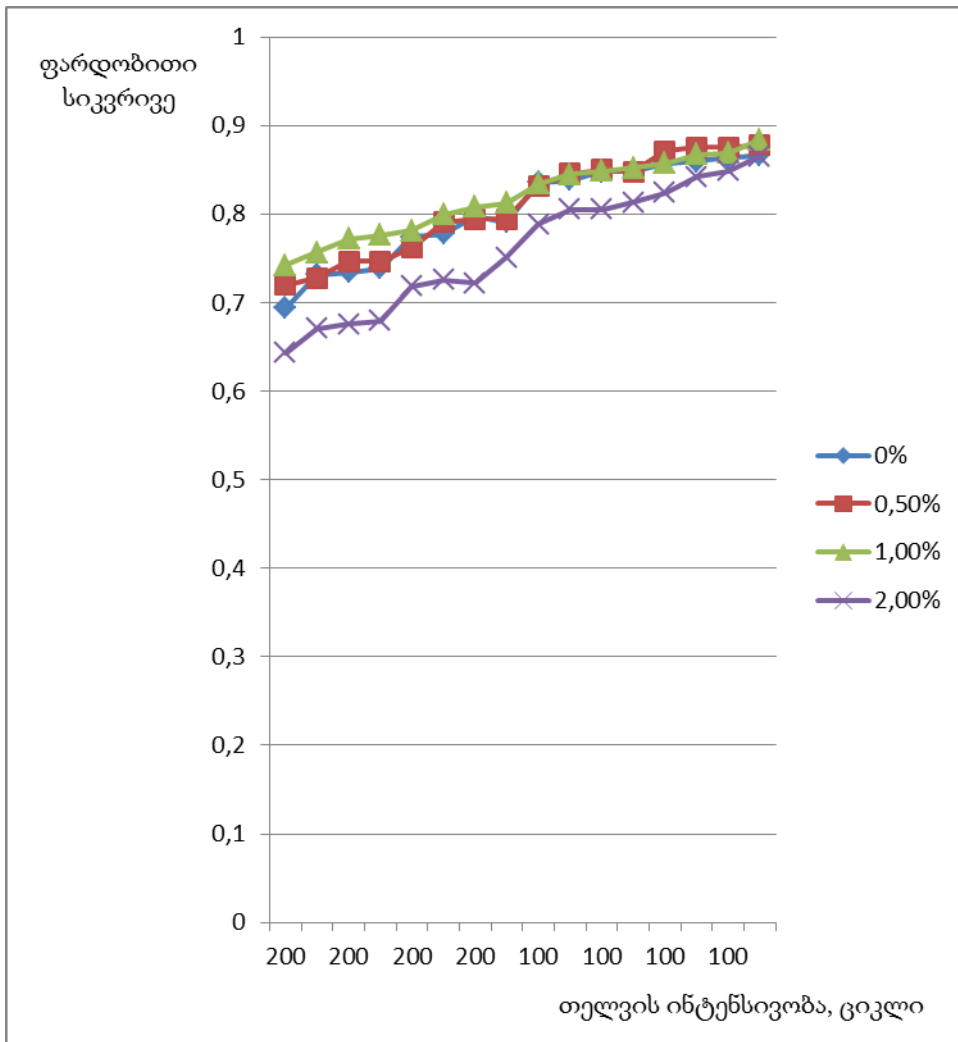
ცხრილი 3.2

**მოდიფიკატორში B წინასწარ დამუშავებული შალისაგან დამზადებული  
თექის სიმჭიდროვის მაჩვენებელი**

საწყისი ნიმუშის სიმჭიდროვე, გრ /სმ <sup>3</sup>	თელვის ინტენსივობა, (ციკლი)	თელვის მიმართულება ნიმუშის კიდეებთან მიმართებაში	სიმჭიდროვე, გრ /სმ <sup>3</sup>			
			მოდიფიკატორის კონცენტრაცია, %			
			0	0,5	1,0	2,0
9,76	წალმა მხარე 200 ციკლი	I	31,84	34,05	37,02	26,34
		II	36,34	35,22	40,07	29,65
		III	36,73	37,67	42,76	30,07
		IV	37,29	39,42	43,67	30,45
	უკანა მხარე 200 ციკლი	I	43,26	41,35	44,65	34,65
		II	43,91	45,47	48,58	35,56
		III	48,1	46,75	50,84	35,10
		IV	46,62	47,88	52,01	39,16
	წალმა მხარე 100 ციკლი	I	59,4	57,19	58,84	46,20
		II	60,46	63,87	62,99	50,05
		III	64,1	63,67	64,46	50,12
		IV	64,1	65,18	66,11	52,18
	უკანა მხარე 100 ციკლი	I	65,23	74,13	70,43	55,44
		II	70,39	78,34	75,49	61,77
		III	72,62	79,14	77,38	64,38
		IV	73,81	80,48	84,10	62,59

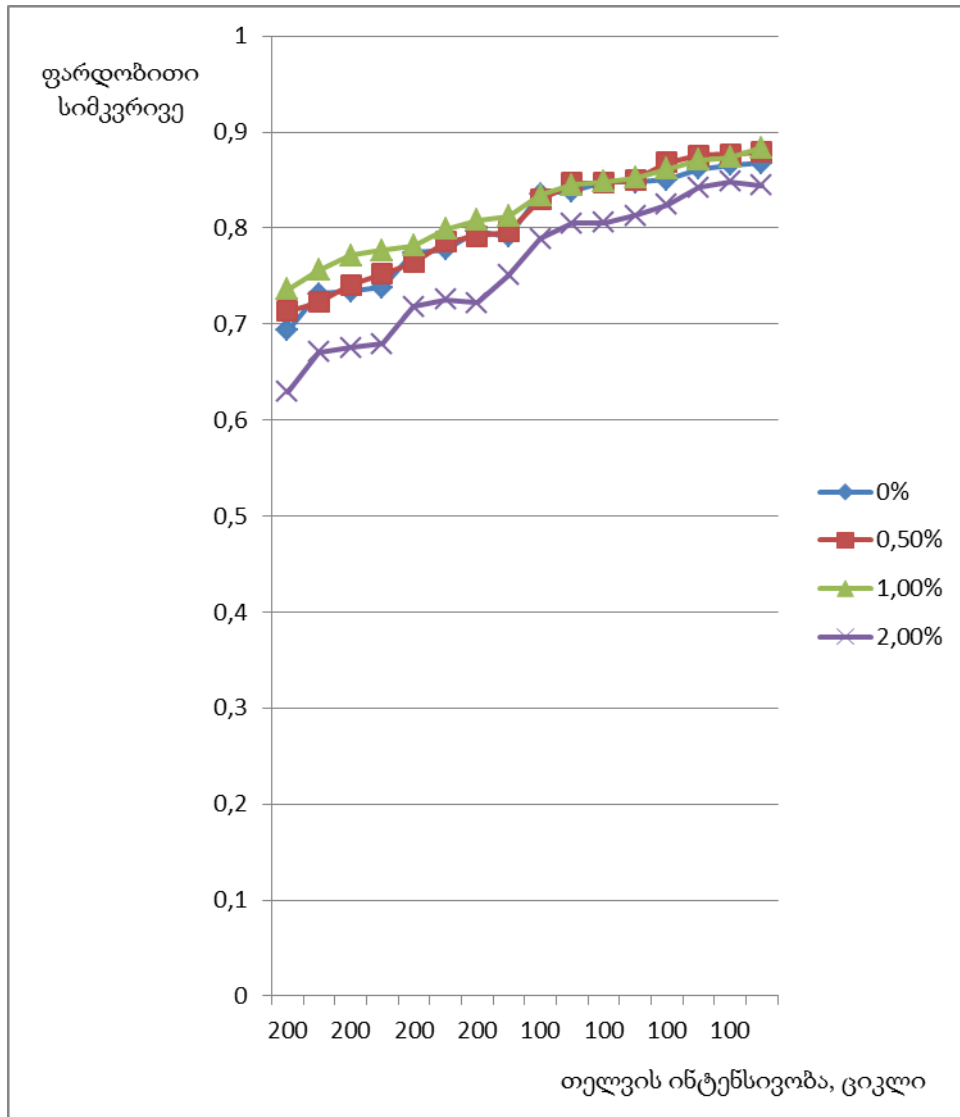


თელვის პროცესის მიმდინარეობის ეფექტურობის შეფასების მიზნით შესწავლილ იქნა თექის სიმჭიდროვის ფარდობითი ცვლილება (ნახ.3.1, ნახ.3.2). ნახაზზე 3.1 ნაჩვენებია მოდიფიკატორში A წინასწარ დამუშავებული შალისაგან დამზადებული თექის სიმჭიდროვის მაჩვენებლის ფარდობითი ცვლილება. ნახაზიდან 3.1 ჩანს, რომ მოდიფიკატორში დაუმუშავებელი და 0,5%-1% მოდიფიკატორში დამუშავებული შალის თელვის პროცესი, პრაქტიკულად, ერთგვაროვნად მიმდინარეობს. ამასთან, დაუმუშავებელი შალისაგან მიღებული თექის ფარდობითი სიმჭიდროვის მაქსიმალური მაჩვენებლის შესაბამისი დონის მიღწევა 0,5% - 1% მოდიფიკატორში A დამუშავებისას შესაძლებელია 300-ით ნაკლები, 2100 ციკლით თელვის პირობებში.



**ნახაზი 3.1.** მოდიფიკატორში A წინასწარ დამუშავებული შალისაგან დამზადებული თექის სიმჭიდროვის მაჩვენებლის ფარდობითი ცვლილება.

მოდულიზატორში B დამუშავების შემდეგ ანალოგიური კანონზომიერება შეინიშნება. დაუმუშავებელი შალისაგან მიღებული თექის სიმჭიდროვის ფარდობითი ცვლილების დონის შესაბამისი ეფექტი მიიღწევა 0,5%-1% მოდიფიკატორში დამუშავებული შალის 2100 ანუ 300-400 ციკლით ნაკლებ პირობებში თელვისას (ნახ.3.2).



**ნახაზი 3.2.** მოდიფიკატორში B წინასწარ დამუშავებული შალისაგან დამზადებული თექის სიმჭიდროვის მაჩვენებლის ფარდობითი ცვლილება.

ამრიგად, 0,5% - 1% მოდიფიკატორებში A და B წინასწარ დამუშავებული შალის თელვა დაუმუშავებელი შალის თელვის პროცესის ანალოგიურად მიმდინარეობს. ამასთან, მოდიფიკატორში დამუშავების შემდეგ დაუმუშავებელი შალისაგან

მიღებული თექის ხარისხის შესაბამისი თელვის ხარისხის მიღება 10-12%-ით ნაკლები ინტენსივობის პირობებშია შესაძლებელი. პრაქტიკულად ეს ნიშნავს, რომ თელვისათვის შესაბამისად ნაკლები დრო და ფიზიკური (აღამიანური ან მანქანური) ძალისხმევა იქნება საჭირო.

თელვის პროცესში მოდიფიცირებული შალისაგან დამზადებული თექის სიმჭიდროვის მაჩვენებლები მოცემულია ცხრილში 3.3 და ცხრილი 3.4.

ცხრილი 3.3

**მოდიფიკატორში A თელვის პროცესში დამუშავებული შალისაგან დამზადებული თექის სიმჭიდროვის მაჩვენებელი**

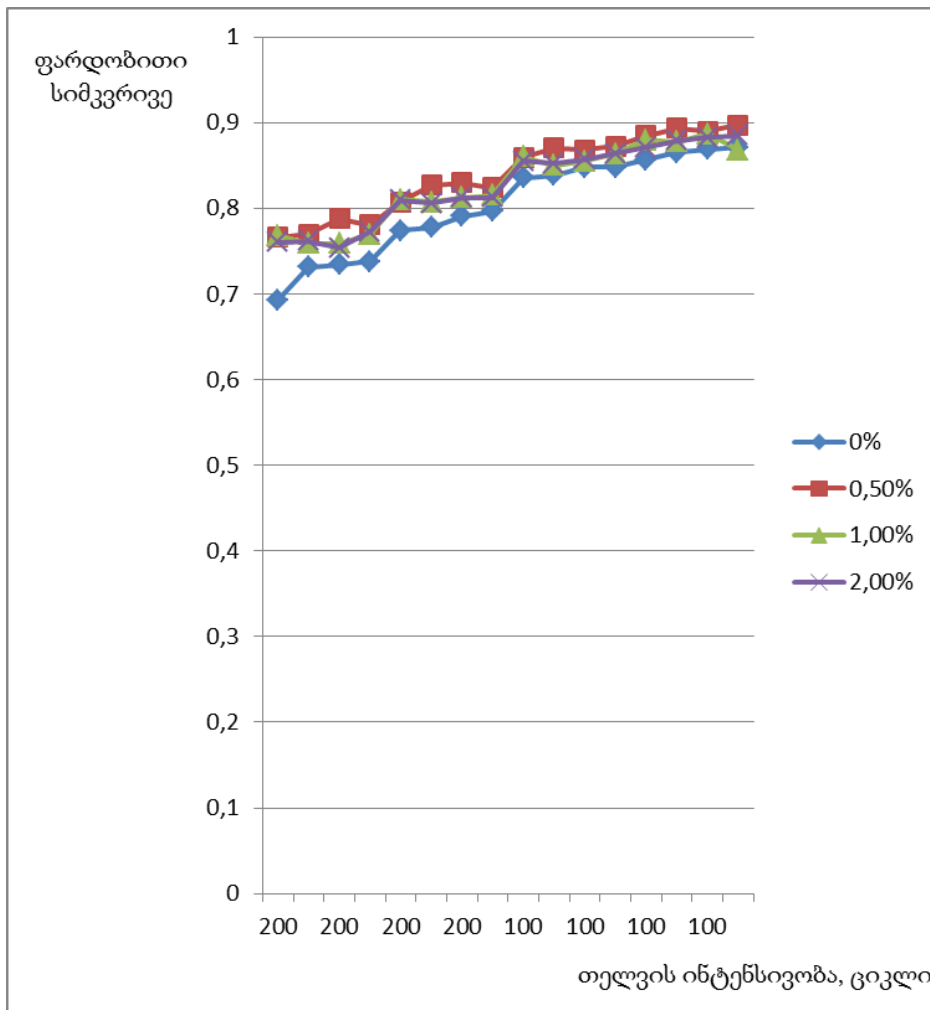
საწყისი ნიმუშის სიმჭიდროვე, გრ /სმ <sup>3</sup>	თელვის ინტენსივობა, (ციკლი)	თელვის მიმართულება ნიმუშის კიდეებთან მიმართებაში	სიმჭიდროვე, გრ /სმ <sup>3</sup>			
			მოდიფიკატორის კონცენტრაცია, %			
			0	0,5	1,0	2,0
13,67	წალმა მხარე 200 ციკლი	I	44,57	58,41	59,02	56,95
		II	50,88	59,42	56,66	57,43
		III	51,43	64,35	56,67	55,55
		IV	52,21	62,24	59,42	60,20
	უკანა მხარე 200 ციკლი	I	60,56	70,83	72,05	71,79
		II	61,48	79,09	70,99	70,55
		III	65,34	80,46	73,01	72,86
		IV	67,26	77,80	74,15	72,86
	წალმა მხარე 100 ციკლი	I	83,16	97,14	97,75	94,44
		II	84,65	105,64	91,34	92,59
		III	89,74	103,73	94,44	95,58
		IV	89,74	107,37	100,44	100,33
	უკანა მხარე 100 ციკლი	I	95,52	118,52	113,33	106,13
		II	101,35	128,70	111,44	112,87
		III	104,47	124,48	120,53	116,57
		IV	106,13	133,21	123,70	118,45

**მოდულიზატორში B თელვის პროცესში დამუშავებული შალისაგან  
დამზადებული თექის სიმჭიდროვის მაჩვენებელი**

საწყისი ნიმუშის სიმჭიდროვე, გრ /სმ <sup>3</sup>	თელვის ინტენსივობა, (ციკლი)	თელვის მიმართულება ნიმუშის კიდეებთან მიმართებაში	სიმჭიდროვე, გრ /სმ <sup>3</sup>			
			მოდულიზატორის კონცენტრაცია, %			
			0	0,5	1,0	2,0
13,67	წალმა მხარე 200 ციკლი	I	44,57	55,72	53,018	51,43
		II	50,88	60,46	56,49	57,34
		III	51,43	61,40	56,49	59,23
		IV	52,21	61,30	57,34	59,26
	უკანა მხარე 200 ციკლი	I	60,56	75,43	69,44	68,37
		II	61,48	75,57	69,44	70,54
		III	65,34	76,75	71,72	76,50
		IV	67,26	77,97	72,91	74,07
	წალმა მხარე 100 ციკლი	I	83,16	96,07	88,36	95,63
		II	84,65	102,34	94,06	95,63
		III	89,74	105,82	92,59	98,71
		IV	89,74	103,96	97,14	97,14
	უკანა მხარე 100 ციკლი	I	95,52	118,83	109,40	112,87
		II	101,35	122,80	111,16	114,69
		III	104,47	126,98	112,87	120,43
		IV	106,13	126,98	120,39	120,39

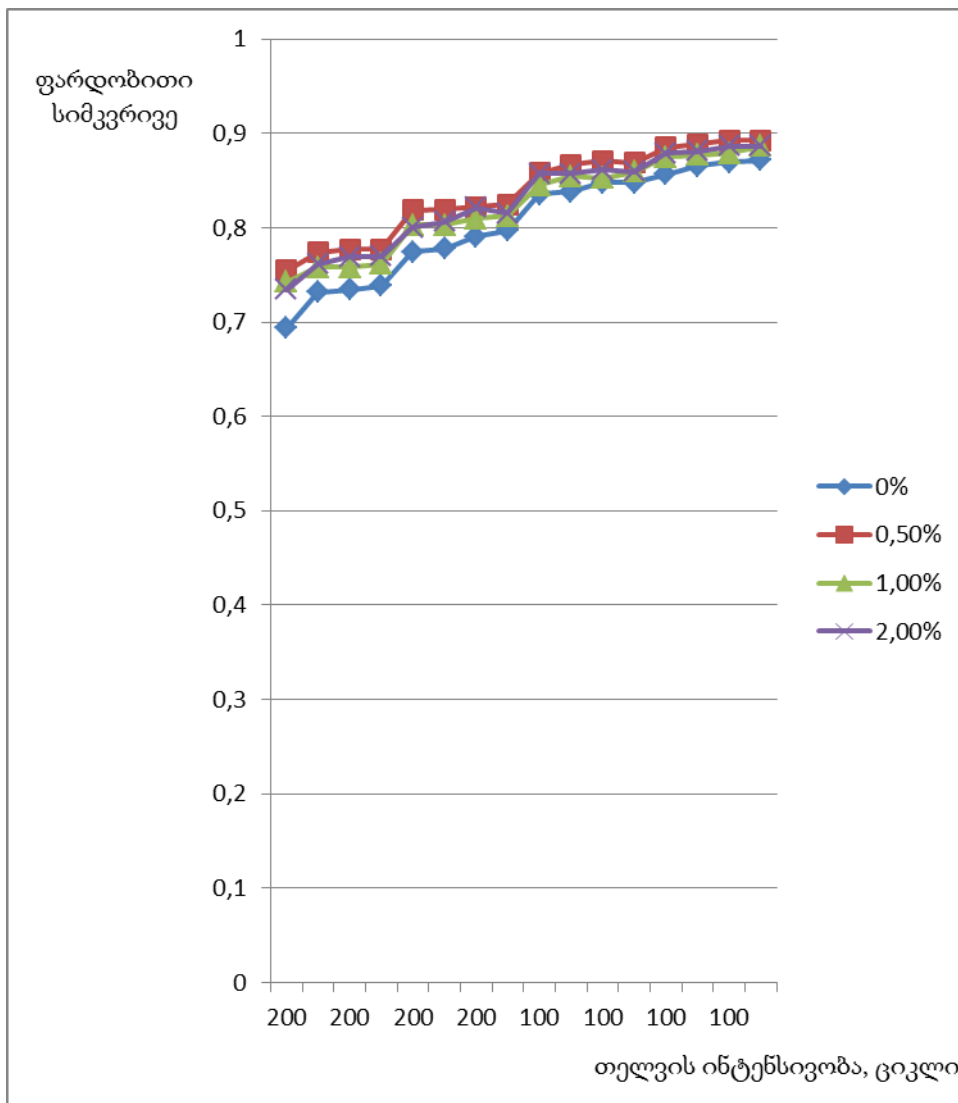
ცხრილიდან 3.3 და ცხრილიდან 3.4 ჩანს, რომ თელვის პროცესში მოდიფიცირებისას ისევე, როგორც მოდიფიკატორში წინასწარი დამუშავებისას, თელვის ინტენსივობის ზრდა თექის სიმჭიდროვის ზრდას იწვევს. ამასთან, თელვის პროცესში მოდიფიცირებული შალის თელვის ხარისხი უკეთესია, ვიდრე წინასწარ დამუშავებულისა. ამავე დროს, თელვის ხარისხი და სიჩქარე მოდიფიცირებული შალის თელვისას მეტია, ვიდრე სტანდარტული რეჟიმით თელვისას. შალის თელვის პროცესში მოდიფიცირების შემთხვევაში, ისევე როგორც წინასწარი მოდიფიცირებისას, თელვის საუკეთესო უნარით გამოირჩევა 0,5%-1% მოდიფიკატორში დამუშავებული ნიმუშები. თელვის ხარისხი - თექის სიმჭიდროვე მოდიფიკატორში A დამუშავებისას 16,5% -25,5%-ით იზრდება, მოდიფიკატორში B დამუშავებისას - 13,4% -19,36%-ით.

თელვის პროცესში მოდიფიცირებული შალის თელვის ეფექტურობის შესაფასებლად შესწავლილ იქნა თექის სიმჭიდროვის მაჩვენებლის ფარდობითი ცვლილება. ნახაზზე 3.3 ნაჩვენებია მოდიფიკატორში-A თელვის პროცესში დამუშავებული შალისაგან დამზადებული თექის სიმჭიდროვის მაჩვენებლის ფარდობითი ცვლილება. ნახაზიდან 3.3 ჩანს, რომ თელვის პროცესში მოდიფიცირებისას, სხვადასხვა კონცენტრაციის მოდიფიკატორში-A დამუშავებული შალის თელვის პროცესი უფრო ეფექტურია, რაც გამოიხატება თექის სიმჭიდროვის მაჩვენებლის ფარდობითი ცვლილების უფრო მაღალ მაჩვენებელში. ამასთან, 0,5%-1,0% მოდიფიკატორში-A დამუშავებული შალის გამოყენებისას დაუმუშავებელი შალისაგან დამზადებული თექის შესაბამისი ხარისხის მიღება შესაძლებელია 1700 ციკლის ანუ 700 ციკლით ნაკლებ პირობებში.



**ნახაზი 3.3.** მოდიფიკატორში-A თელვის პროცესში დამუშავებული შალისაგან დამზადებული თექის სიმჭიდროვის მაჩვენებლის ფარდობითი ცვლილება.

ანალოგიური კანონზომიერება შეინიშნება მოდიფიკატორში-B თელვის პროცესში დამუშავებული შალისაგან დამზადებული თექის სიმჭიდროვის მაჩვენებლის ფარდობითი ცვლილების შესწავლისას (ნახაზი 3.4). ნახაზიდან ჩანს, რომ თელვის პროცესში მოდიფიცირებისას, სხვადასხვა კონცენტრაციის მოდიფიკატორში-B დამუშავებული შალის თელვის პროცესი უფრო ეფექტურია, რაც გამოიხატება თექის სიმჭიდროვის მაჩვენებლის ფარდობითი ცვლილების უფრო მაღალ მაჩვენებელში. ამასთან, 0,5%-1,0% მოდიფიკატორში-B დამუშავებული შალის გამოყენებისას დაუმუშავებელი შალისაგან დამზადებული თექის შესაბამისი ხარისხის მიღება შესაძლებელია 1700 ციკლის ანუ 700 ციკლით ნაკლებ პირობებში.



**ნახაზი 3.4.** მოდიფიკატორში-B თელვის პროცესში დამუშავებული შალისაგან დამზადებული თექის სიმჭიდროვის მაჩვენებლის ფარდობითი ცვლილება.

ამრიგად, 0,5%-1,0% მოდიფიკატორებში A და B თელვისას დამუშავებული შალის თელვის პროცესი დაუმუშავებელი შალის თელვაზე უფრო ეფექტურად მიმდინარეობს. ამასთან, მოდიფიკატორში დამუშავების შემდეგ დაუმუშავებელი შალისაგან მიღებული თექის ხარისხის შესაბამისი თელვის ხარისხის მიღება 25-28%-ით ნაკლები ინტენსივობის პირობებშია შესაძლებელი. პრაქტიკულად ეს ნიშნავს, რომ თელვისათვის მნიშვნელოვნად ნაკლები დრო და ფიზიკური (ადამიანური ან მანქანური) ძალისხმევა იქნება საჭირო.

თელვის პროცესის კვლევამ ცხადჰყო, რომ შალის მოდიფიცირება მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს თელვის პროცესზე. ამასთან, თელვის პროცესში მოდიფიცირება უფრო ეფექტურია და მიღებული თექა ხარისხის გაუმჯობესებული მაჩვენებლებით ხასიათდება [76]. ეს შესაძლოა გამოწვეული იყოს იმით, რომ თელვის პროცესში მოდიფიცირებისას, ფიზიკური ზემოქმედების შედეგად, მოდიფიკატორი უფრო იოლად და ღრმად აღწევს ბოჭკოს სტრუქტურაში. ვფიქრობთ, ამ დროს იცვლება ბოჭკოს ფიზიკურ-მექანიკური და დრეკად-დეფორმაციული თვისებები. კერძოდ, იზრდება ბოჭკოს პლასტიკური თვისებები, რაც შალის ბოჭკოს პოლიმერული ჯაჭვების ურთიერთზემოქმედების ფართობისა და თელვის პროცესში ხახუნის ძალის ზრდას იწვევს. ეს ფაქტორები კი მნიშვნელოვნად განსაზღვრავენ თელვის პროცესის მიმდინარეობას. ამდენად, მათი გაუმჯობესება ლოგიკურად იწვევს თელვის ხარისხის გაუმჯობესებას. მოსაზრება დადასტურებულ იქნა შემდგომი კვლევებით.

### **3.1.2. მოდიფიცირებული შალის დეფორმაციული თვისებების ცვლილების ზეგავლენის კვლევა თელვის პროცესზე**

თექის წარმოებას საფუძვლად უდევს მექანიკური პროცესი - ბოჭკოვანი მასალის გაჭიმვა-შეკუმშვა ხახუნისას, რის შედეგადაც ბოჭკოები იხლართებიან ერთმანეთში და წარმოქმნიან ერთიან ურღვევ ტილოს. ბოჭკოების ურთიერთგადახლართვის შესაძლებლობას შალის ბოჭკოს ზედაპირული

სტრუქტურის თავისებურება - „ქერცლოვანი“ ზედაპირი, ხოლო ხახუნისას გაჭიმვისა და შეკუმშვის უნარს - დრეკად-დეფორმაციული თვისებები განაპირობებენ.

აღსანიშნავია, რომ თელვის უნარი და თექის ხარისხი დამოკიდებულია ისეთ პარამეტრებზე, როგორცაა ხახუნისას ბოჭკოების ურთიერთშეხების ფართობი და მათი დეფორმაციული მახასიათებლები. ამიტომ მიგვაჩნია, რომ ბოჭკოების ფიზიკურ-მექანიკური და დეფორმაციული თვისებების ცვლილება, გარკვეულ ზემოქმედებას მოახდენს თავად თელვის პროცესზე.

კვლევის პროცესში შესწავლილ იქნა მოდიფიცირებული ბოჭკოების დეფორმაციული თვისებები და მათი ცვლილების ზეგავლენა თელვის პროცესზე. კვლევებით დადგენილია, რომ შალის ბოჭკოს დამუშავებისას ბორის შემცველ ნაერთებში, პოლიპეპტიდური ჯაჭვების მონაწილეობით ხდება კომპლექნაერთების წარმოქმნა, რის შედეგადაც იცვლება ბოჭკოს თვისებები [77-79]. კერძოდ, ნაჩვენებია, რომ ბორის შემცველი ნაერთები გვევლინებიან პლასტიფიკატორების როლში. ურთიერთქმედებენ რა ბოჭკოვანი პოლიმერის გარკვეულ ფუნქციურ ჯგუფებთან, იწვევენ ზედაპირული სტრუქტურის რაოდენობრივ და ხარისხობრივ ცვლილებას. შედეგად იზრდება ბოჭკოს პლასტიკური თვისებები, რასაც თან ახლავს ელასტიურობის ზრდაც. ეს პროცესები მნიშვნელოვანია პრაქტიკული თვალსაზრისით, რადგანაც განაპირობებენ ბოჭკოს ისეთ მნიშვნელოვან თვისებებს, როგორცაა სიმტკიცე, წაგრძელება, რელაქსაციური და დეფორმაციული თვისებები.

ჩვენს მიერ შესწავლილ იქნა მოდიფიცირებული შალის დრეკად-დეფორმაციული თვისებების ცვლილების ზეგავლენა თელვის უნარზე. თელვის უნარის განმსაზღვრელ მახასიათებლებად შერჩეულ იქნა ტექსტილის მასალის ფართობისა და მოცულობის ცვლილება.

როგორც ზემოთ უკვე აღინიშნა, თელვის პროცესში ბოჭკოვანი მასალა განიცდის გაჭიმვა-კუმშვის დეფორმაციას. ამ დროს გარკვეული დროის მანძილზე ბოჭკოზე მოქმედებს დატვირთვა, შემდეგ ხდება განტვირთვა და დასვენება. ამიტომ რელაქსაციური და დეფორმაციული თვისებების შესწავლა მოხდა რეჟიმში „დატვირთვა-განტვირთვა-დასვენება“. მიღებული მონაცემების საფუძველზე



განგარიშებულ იქნა ბოჭკოვანი მასალის დრეკად-დეფორმაციული და პლასტიკური მახასიათებლები. მონაცემები მოცემულია ცხრილში 3.5.

ცნობილია, რომ მასალათა სრული დეფორმაცია შედგება შექცევადი (დრეკადი და ელასტიური) და შეუქცევადი დეფორმაციისაგან. დრეკადი დეფორმაცია იმიტომ აღიძვრება, რომ გარეგანი ძალების ზემოქმედების შედეგად ხდება მაკრომოლეკულაში პოლიმერის ნაწილებს, მეზობელ რგოლებსა და ატომებს შორის არსებული საშუალო დაცილებების მცირედი ცვლილებები.

ცხრილი 3.5

**ბოჭკოვანი მასალის სრული ფარდობითი დეფორმაცია**

ბოჭკოვანი მასალა	სრული ფარდობითი დეფორმაცია, %		
	ნდრ	ნელ	ნპლ
დამუშავებული მოდიფიკატორში-A	9,4	38,0	52,6
დამუშავებული მოდიფიკატორში-B	10,1	39,9	50,0
დაუმუშავებელი	50,0	22,0	28,0

ამასთან, მოლეკულათაშორისი ატომთა შორის კავშირები შენარჩუნებულია, ხოლო ვალენტური კუთხეები ნაწილობრივ იზრდება. ამიტომ დრეკადი დეფორმაცია ბოჭკოს მოცულობის ზრდას იწვევს [80]. არანაკლებ მნიშვნელოვანია ასევე შექცევადი, შედარებით ნელა მიმდინარე ელასტიური დეფორმაცია. იგი აღიძვრება იმის გამო, რომ გარეგანი ძალების ზემოქმედების შედეგად ადგილი აქვს მაკრომოლეკულის კონფიგურაციის ცვლილებას და მათ გადაჯგუფებას. გარეგანი ძალის ზემოქმედების შედეგად პოლიმერების მაკრომოლეკულები უფრო სწორდებიან და ორიენტირდებიან მოქმედი ძალის გასწვრივ ანუ ბოჭკოს გაჭიმვის მიმართულებით - ბოჭკოს ღერძის გასწვრივ. ამ დროს ხდება ძველი მოლეკულათაშორისი კავშირების რღვევა და ახალი კავშირების წარმოქმნა. ასეთი გადაჯგუფებებისათვის გარკვეული დროა საჭირო. ამიტომ ეს პროცესი ხორციელდება როგორც დროში მიმდინარე რელაქსაციური პროცესი, რომელიც წონასწორობის მდგომარეობის დამყარებას უზრუნველყოფს.

პლასტიკური დეფორმაცია შედეგია გარეგანი ძალის ზემოქმედების შედეგად მაკრომოლეკულის რგოლების საკმაოდ დიდ მანძილზე შეუქცევადი

გადაადგილებებისა. იგი კიდევ უფრო ნელა მიმდინარეობს, ვიდრე ელასტიური დეფორმაცია და გრძელდება ხანგრძლივი დროის მანძილზე.

მოდულირებული შალის თელვის პროცესის ხასიათსა და ხარისხზე ვმსჯელობთ სათელავი საცდელი ნიმუშის - ტექსტილის კუპიურის ფართობისა და მოცულობის ცვლილების მონაცემების შესაბამისად. კვლევის შედეგები მოცემულია ცხრილში 3.6, ცხრილში 3.7. და ნახაზზე 3.5 (ა, ბ), ნახაზზე 3.6 (ა, ბ).

ცხრილი 3.6

თელვისას შალის კუპიურის ფართობის ცვლილება

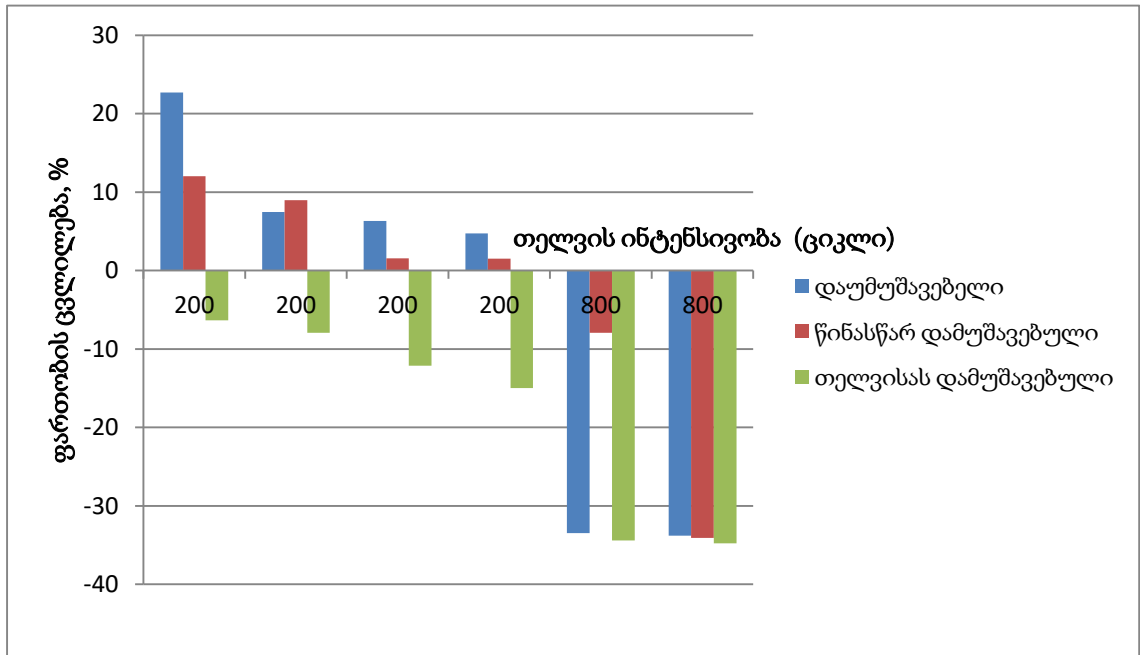
საცდელი ნიმუში		კუპიურის ფართობის ცვლილება, %				კუპიურის ფართობის ცვლილება, %			
		წაღმა მხარე (200 ციკლი)	უკანა მხარე (200 ციკლი)	წაღმა მხარე (100 ციკლი)	უკანა მხარე (100 ციკლი)	წაღმა მხარე (800 ციკლი)	უკანა მხარე (800 ციკლი)	წაღმა მხარე (400 ციკლი)	უკანა მხარე (400 ციკლი)
წინასწარი	მოდულირებული A დამუშავებული ბოჭკო	12,0	8,98	1,56	1,51	-7,93	-34,18	-34,18	-34,26
	მოდულირებული B დამუშავებული ბოჭკო	19,53	4,73	4,68	3,15	-33,71	-34,0	-34,25	-34,44
თელვის პრო- ცესში	მოდულირებული A დამუშავებული ბოჭკო	- 6,37	- 7,95	-12,13	- 15,0	-34,4	-34,77	-34,91	-35,05
	მოდულირებული B დამუშავებული ბოჭკო	-1,85	-9,54	-10,79	-10,93	-34,57	-34,71	-34,85	-34,85
არამოდულირებული ბოჭკო		22, 68	7,47	6,32	4,73	-33,47	-33,79	-33,95	-34,0

## თელვისას შალის კუბიურის მოცულობის ცვლილება

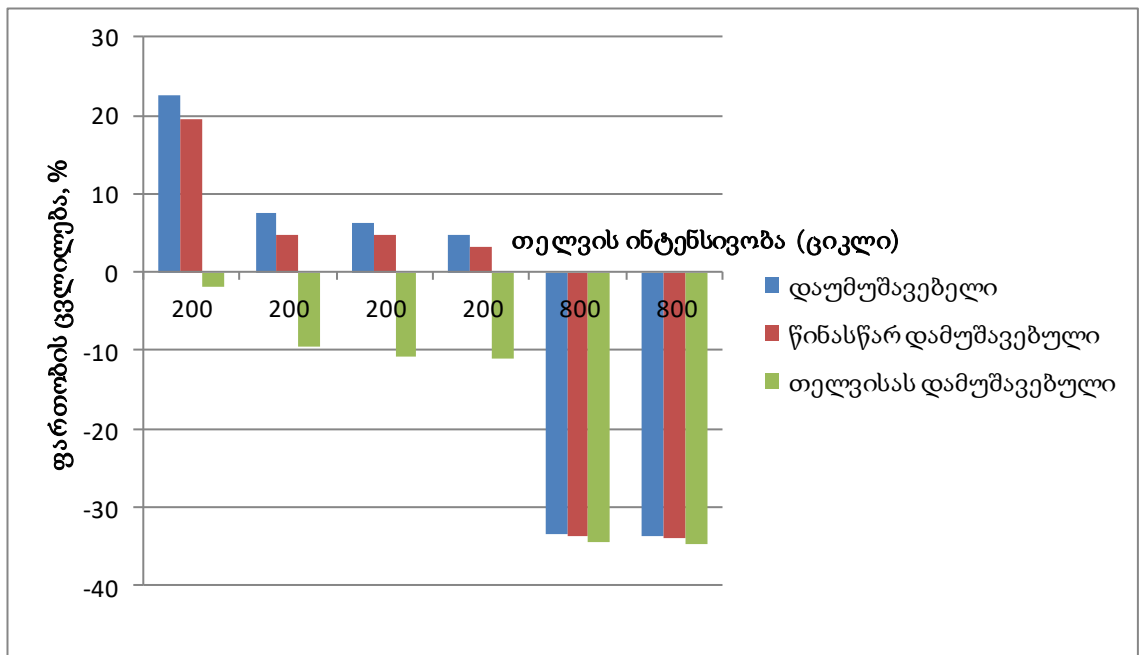
საცდელი ნიმუში		კუბიურის ფართობის ცვლილება, %				კუბიურის ფართობის ცვლილება, %			
		წაღმა მხარე (200 ციკლი)	უკანა მხარე (200 ციკლი)	წაღმა მხარე (100 ციკლი)	უკანა მხარე (100 ციკლი)	წაღმა მხარე (800 ციკლი)	უკანა მხარე (800 ციკლი)	წაღმა მხარე (400 ციკლი)	უკანა მხარე (400 ციკლი)
წინასწარი	მოდულიკატორში A დამუშავებული ბოჭკო	-72,0	-72,75	-74,62	-74,69	-87,1	-87,51	-87,64	-87,71
	მოდულიკატორში B დამუშავებული ბოჭკო	-70,11	-73,82	-73,82	-74,21	-86,3	-87,1	-87,7	-88,1
თელვის ნიმუში	მოდულიკატორში A დამუშავებული ბოჭკო	-76,59	-76,99	-78,03	-78,75	-88,46	-89,0	-89,37	-89,73
	მოდულიკატორში B დამუშავებული ბოჭკო	-75,46	-77,38	-77,69	-77,73	-88,49	-88,86	-89,23	-89,25
არამოდულიციირებული ბოჭკო		-69,8	-73,3	-73,2	-73,9	-85,3	-86,2	-86,1	-87,5

როგორც ნახაზიდან 3.5. (ა, ბ) ჩანს, თელვის დასაწყისში არამოდულიციირებული და მოდულიკატორში წინასწარ დამუშავებული შალის კუბიურის ფართობი იზრდება, ხოლო შემდგომში ხდება თანდათანობითი შეკუმშვა (შემჭიდროვება) და კუბიურის ფართობისა და მოცულობის შემცირება.

მიგვაჩნია, რომ თელვის საწყის ეტაპზე საცდელი ნიმუშის კუბიურის ფართობის ზრდა დაკავშირებულია ბოჭკოს დრეკადი თვისებების გამოვლენასთან, რის შესახებაც ზემოთ აღინიშნა.



ა



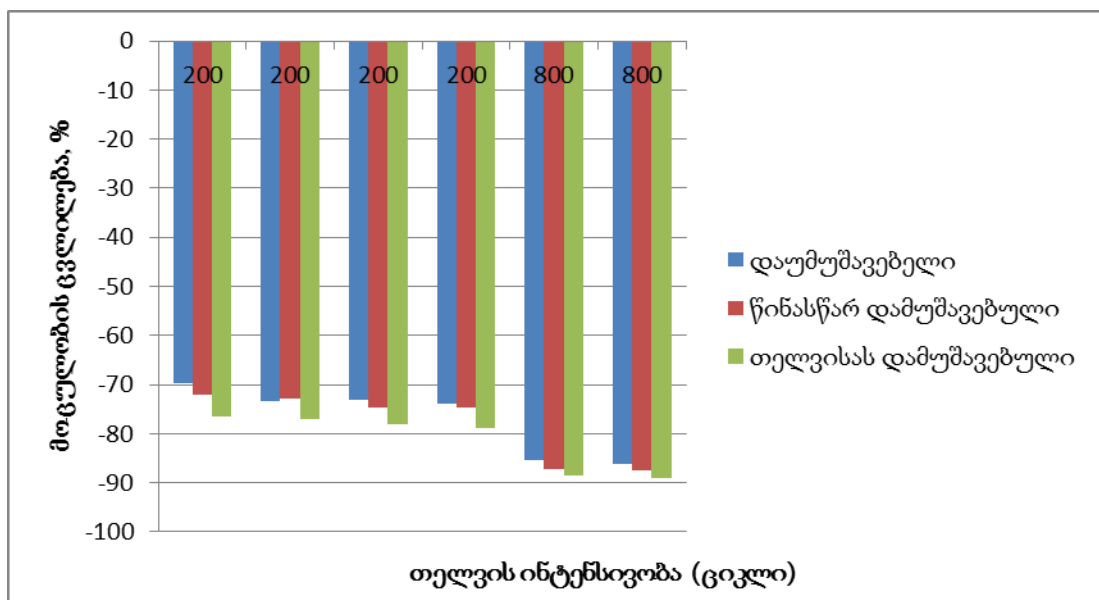
ბ

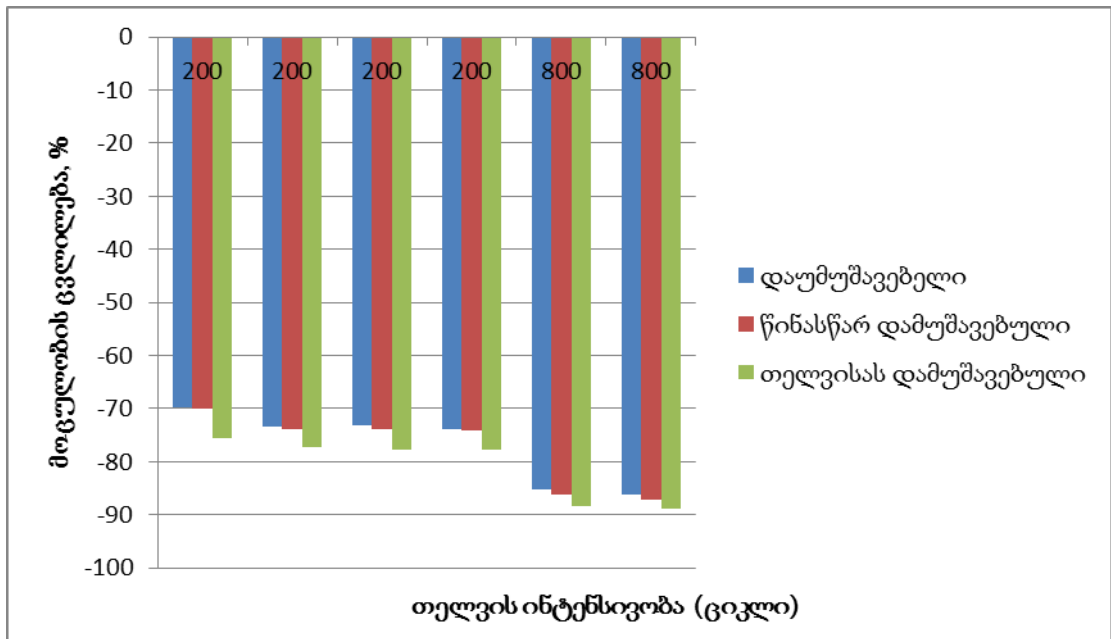
**ნახაზი 3.5.** თელვის შედეგად კუპიურის ფართობის ცვლილება მოდიფიკატორის - A (ა) და მოდიფიკატორის - B (ბ) გამოყენებისას.

ვინაიდან ბუნებრივი, დაუმუშავებელი შალის ბოჭკოს საკმაოდ კარგი დრეკადი თვისებები ახასიათებს, თელვის საწყის ეტაპზე ბოჭკოვანი პოლიმერი სწორედ ისეთ თვისებას ავლენს, როგორც მოსალოდნელი იყო ანუ გარეგანი

ძალების ზემოქმედების შედეგად ხდება ბოჭკოს მოცულობის ზრდა. რაც შეეხება მოდიფიკატორებში დამუშავებული მასალის კუპირებს, მოდიფიკატორში წინასწარ დამუშავებისას ფართობის ზრდა შედარებით მცირეა, რადგანაც მოდიფიკატორში დამუშავებისას ბოჭკოს დრეკადი დეფორმაცია მცირდება. ეს გამოწვეულია იმ ფაქტით, რომ მოდიფიკატორი ბოჭკოზე მოქმედებს როგორც პლასტიფიკატორი და იწვევს პლასტიკური დეფორმაციის ზრდას. საბოლოო ჯამში, პლასტიფიკაცია ხელს უწყობს ბოჭკოს თელვის უნარის გაუმჯობესებას. თელვისას მოდიფიკატორში დამუშავებისას - კუპირის ფართობის ცვლილება სწრაფადვე ხდება, რადგან მოდიფიკატორის ეფექტურობა უფრო მაღალია.

თელვის ინტენსივობის ზრდასთან ერთად, ხდება მასალის შემჭიდროვება, ბოჭკოების მაქსიმალურად დაახლოვება და ამ დროს გადამწყვეტ მნიშვნელობას იძენს ხახუნი. ხახუნის შედეგად შალის ბოჭკოს ქერცლოვანი სტრუქტურის ურთიერთჩაჭიდება სულ უფრო მნიშვნელოვანი ხდება და შედეგად, თელვის ხარისხი უმჯობესდება.





ბ

**ნახაზი 3.6.** თელვის შედეგად კუპიურის მოცულობის ცვლილება მოდიფიკატორის - A (ა) და მოდიფიკატორის - B (ბ) გამოყენებისას.

თელვის პროცესისა და მის მიმდინარეობაზე ბოჭკოს დეფორმაციული თვისებების ზეგავლენის შესწავლისა და შეფასებისათვის მნიშვნელოვანია იმის გათვალისწინება, თუ რა სახის მექანიკურ ზემოქმედებას განიცდის ბოჭკო. მექანიკური ზემოქმედება, რომელსაც ბოჭკო განიცდის თელვისას, არის მრავალჯერადი ძალოვანი ზემოქმედება მრავალჯერადი გაჭიმვისას. მრავალჯერადი გაჭიმვისას ბოჭკოს სტრუქტურაში რთული ცვლილებები ხდება, რაც მისი მექანიკური და დეფორმაციული თვისებების ცვლილებაში ვლინდება. ამასთან, აღნიშნულ ცვლილებათა შედეგები და პრაქტიკული გამოვლინებები გარეგანი ზემოქმედების (გაჭიმვის) სხვადასხვა სტადიაზე სხვადასხვა ხასიათისაა. ამ დროს მიმდინარეობს ორი ურთიერთსაწინააღმდეგო პროცესი: ერთის მხრივ, სტრუქტურის გაუმჯობესება სტრუქტურული ელემენტების (მოლეკულები, მიკროფიბრილები, ბოჭკოები) ორიენტირების ხარჯზე, რის შედეგადაც ელემენტებს შორის ურთიერთქმედება ძლიერდება; მეორეს მხრივ, სტრუქტურის გაუარესება დეფექტების ადგილებში, ბზარების წარმოქმნა და ზრდა, რაც მასალის რღვევას იწვევს. მრავალჯერადი გაჭიმვისას ბოჭკოების სტრუქტურის ცვლილება სამ ფაზად ხორციელდება [81].

პირველ ფაზაში, რომელიც რამდენიმე ასეული ციკლის განმავლობაში მიმდინარეობს, ძირითადად, იმ სტრუქტურული ელემენტების გადაადგილება ხდება, რომლებიც ნაკლებად ურთიერთქმედებენ მეზობლებთან. მოლეკულებში ხდება ცალკეული რგოლების და მაკროფიბრილების გადაადგილება. კერძოდ, ხდება სტრუქტურული ელემენტების ბოჭკოს ღერძის გასწვრივ უფრო ორიენტირებული განლაგება, რის შედეგადაც მოლეკულათაშორისი კავშირების, ხახუნის ძალისა და სხვათა ხარჯზე, მათი ურთიერთქმედება ძლიერდება. ამ პროცესებს თან ახლავს ნარჩენი წაგრძელების მნიშვნელობის ზრდა, რომელიც ძირითადად, შეუქცევადი პლასტიკური დეფორმაციისაგან და ასევე ნელა აღდგენადი ელასტიური დეფორმაციისაგან შედგება. სწორედ, ამ მოვლენას უკავშირდება ის ფაქტი, რომ მოდიფიცირებული შალი თელვის საწყის ეტაპზე სწრაფად და ინტენსიურად ითელება. ამ ფაქტს ადასტურებს თელვისას ფართობისა და მოცულობის მნიშვნელობების ცვლილების ზემოთ მოტანილი მაჩვენებლები (ცხრილი 3.6 და ცხრილი 3.7). ამასთან, გათვალისწინებულ უნდა იქნას ის გარემოებაც, რომ მოდიფიცირებული ბოჭკოს პლასტიკური დეფორმაციის შემადგენელი იმთავითვე უფრო მაღალია, ვიდრე არამოდიფიცირებულისა (ცხრილი 3.5). ამიტომაც ერთობლიობაში, თელვის პროცესი საწყის სტადიაზეც კი უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს. თელვის შემდგომ ციკლებში წაგრძელების სწრაფი ნამატი ნელდება, ბოჭკოს სტრუქტურა გარკვეულწილად სტაბილიზირდება. ბოჭკოს სტრუქტურის რღვევა ნელა მიმდინარეობს და არ იწვევს მექანიკური თვისებების გაუარესებას.

მეორე ფაზაში, თუ ბოჭკოს სტრუქტურა კარგია, ხოლო გაჭიმვის სიდიდე და სიხშირე ისეთია, რომ ისინი მხოლოდ სწრაფად შექცევად დეფორმაციებს იწვევენ, როგორცაა დრეკადი და სწრაფად რელაქსირებადი ელასტიკური დეფორმაციები, გარეგანი ზემოქმედების შედეგად მასალის სტრუქტურის მნიშვნელოვანი გაუარესება არ ხდება და შედეგად, იგი რჩება უცვლელი. მასალა გაჭიმვის დიდ რაოდენობას უძლებს. სტრუქტურული დეფექტების განვითარება და ნელი ელასტიური და პლასტიკური დეფორმაციების დაგროვება შენელებული ტემპით მიმდინარეობს. დეფორმაციის ციკლის დიდი რიცხობრივი რაოდენობის შემდეგ გროვდება გარკვეული შეუქცევადი დეფორმაცია და იწყება მესამე ფაზა.

მესამე ფაზაში შედარებით სწრაფად ხდება სტრუქტურის რყევა. დეფექტების ადგილებში ხდება დამაბულობის კონცენტრირება, პლასტიკური დეფორმაციის სწრაფი დაგროვება და მოლეკულებისა და ბოჭკოების გადაადგილების შედეგად, მათი რღვევა. თუმცა, უნდა გავითვალისწინოთ, რომ შალის ბოჭკო სწორედ იმით არის უნიკალური, რომ ზედაპირული სტრუქტურის ქერცლოვანი შრის წყალობით, ხანგრძლივი ხახუნი და გაჭიმვა არა თუ ბოჭკოს რღვევას, არამედ, მეზობელი პოლიმერული ჯაჭვების ჩაჭიდებასა და შედეგად თელვის ხარისხის გაუმჯობესებას იწვევს. ამიტომ პოლიმერული მასალის რღვევის მეორე და განსაკუთრებით, მესამე „რღვევის“ ფაზა შალის ბოჭკოსათვის „მომაკვდინებელი“ არ არის, - პირიქით, ხახუნის ძალის წყალობით წარმოადგენს თელვის პროცესის წარმმართველ ძალას.

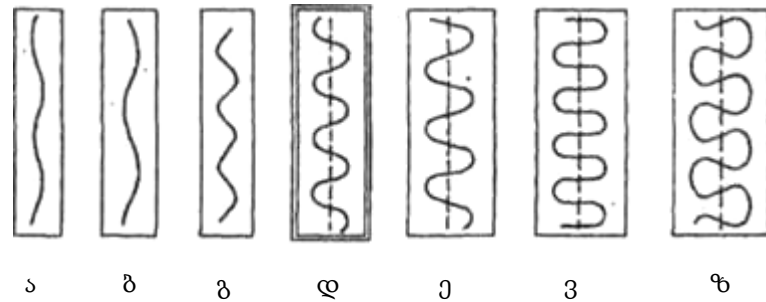
ამრიგად, თელვის პროცესზე შალის ბოჭკოს დეფორმაციული თვისებების ცვლილებების ზეგავლენის კვლევამ ცხადჰყო, რომ ბორის შემცველ მოდიფიკატორებში ბოჭკოს დამუშავება ხელს უწყობს თელვის უნარის გაუმჯობესებას, რადგანაც უზრუნველყოფს თელვის ხარისხის განმსაზღვრელი ბოჭკოს დეფორმაციის ელასტიური და პლასტიკური შემადგენლის ზრდას. შედეგად, გარეგანი მექანიკური ზემოქმედებისას, იზრდება ბოჭკოს ეფექტური ფართობი, ხახუნისას ბოჭკოების ურთიერთშეხების ზედაპირი და თელვის ეფექტურობა.

### **3.1.3. მოდიფიცირებული შალის კლაკნილობისა და ზედაპირული სტრუქტურის ცვლილების კვლევა**

ხახუნი, რაც თელვის პროცესის წარმმართველი ძალაა, დამოკიდებულია მასალის სტრუქტურული ელემენტების შეხების ზედაპირის ფართობის სიდიდეზე. როგორც ზემოთ აღინიშნა, შალის ბოჭკოს თელვისას ბოჭკოვანი პოლიმერის ურთიერთშეხების ზედაპირის სიდიდე დამოკიდებულია ბოჭკოს ელასტიური და პლასტიკური დეფორმაციის შემადგენლის სიდიდესა და ბოჭკოს კლაკნილობაზე. კლაკნილობა ეს არის შალის ბოჭკოს თვისება წარმოქმნას რკალები და მარყუჟები. კლაკნილობას ახასიათებენ მისი ფორმისა და ხარისხის მახასიათებლების მიხედვით. ფორმის მიხედვით კლაკნილობის შეფასებისას მხედველობაში მიიღება რკალის



სიმაღლისა და მისი ფუძის თანაფარდობა. შესაბამისად, ცნობილია კლავნილობის რამდენიმე ფორმა (ნახაზი 3.7).



**ნახაზი 3.7.** შალის ბოჭკოს კლავნილობის სახეები.

როდესაც რკალის სიმაღლე ბოჭკოს სიგრძესთან შედარებით უმნიშვნელოა, კლავნილობა არის გლუვი (ა). ასეთი კლავნილობა ახასიათებს უხეშ მატყლს. გაწელილი ანუ ტალღისებური კლავნილობის დროს რკალის სიმაღლე უფრო შესამჩნევია, ვიდრე გლუვის დროს (ბ). ბრტყელი კლავნილობის დროს რკალის სიმაღლე მის ფუძეზე ნაკლებია (გ). ნორმალურია კლავნილობა, როდესაც რკალის სიმაღლე ფუძის ნახევარის ტოლია (დ). ასეთი კლავნილობა ახასიათებს მაღალი ხარისხის წვრილბოჭკოვან მერინოსის შალს. შეკუმშული კლავნილობისას რკალის სიმაღლე ფუძეზე მეტია (ე). მაღალი კლავნილობის დროს რკალის სიმაღლე ბევრად მეტია ფუძეზე (ვ). მარყუჟისებური კლავნილობისას რკალის სიმაღლე (სიგრძე) ბევრად აღემატება ფუძის სიგრძეს მისი შევიწროვების გამო (ზ). ასეთ ბოჭკოს ნაკლები სიმტკიცე და სიგრძე აქვს. მომეტებული კლავნილობა შალის დართვის პროცესს ართულებს, თუმცაღა, თელვაზე დადებით ზეგავლენას ახდენს, ვინაიდან განაპირობებს ბოჭკოს ისეთ თვისებებს, როგორცაა დრეკად-ელასტიური თვისებები. ბოჭკოს კლავნილობის ხარისხი განისაზღვრება 1 სმ-ზე რკალების რაოდენობით. კლავნილია შალის ბოჭკო, თუ 1 სმ-ზე არანაკლებ 3-4 რკალია. მერინოსის შალის ბოჭკოს 1 სმ-ზე 7-12 რკალია [82].

რაც უფრო ხვეული და კლავნილია ბოჭკო, მით უფრო დიდია მისი ზედაპირის ზრდის სიდიდე გამჭიმვი ძალის ზემოქმედების შემდეგ. ამდენად, კლავნილობის მაღალი მაჩვენებელი თელვის ხარისხის გაუმჯობესების წინაპირობაა. ბორის შემცველ მოდიფიკატორებში დამუშავებისას შალის ბოჭკოვანი პოლიმერის -

კერატინის სტრუქტურაში ცვლილებები ცილის პირველადი სტრუქტურის დონეზე ხორციელდება. ეს გვაფიქრებინებს, რომ ამგვარი ღრმა სტრუქტურული ცვლილებები გარკვეულ ზეგავლენას იქონიებს ბოჭკოს სტრუქტურის ფორმირებაზე. ამდენად, მიზანშეწონილად იქნა მიჩნეული შალის ბოჭკოს კლაკნილობისა და ზედაპირული სტრუქტურის შესწავლა მიკროსკოპული კვლევის მეთოდის გამოყენებით.

კლაკნილობა შესწავლილ იქნა ლუპით (4-ჯერადი გადიდება) დაკვირვებით.

როგორც სურათებიდან ჩანს, ადგილობრივი შალი გლუვი, ტალღისებური და ბრტყელი კლაკნილობით ხასიათდება (ნახაზი 3.8). მოდიფიკატორებში დამუშავების შემდეგ კლაკნილობა იმატეს. ქართული შალისათვის თითქმის აღარ გვხვდება გლუვი ბოჭკო. ამასთან, მოდიფიკატორის B ზემოქმედება უფრო ეფექტურია.



ა



ბ



ბ

**ნახაზი 3.8.** ადგილობრივი ცხვრის მატყლის კლაკნილობა 4-ჯერადი გადიდებისას: ა - დაუმუშავებელი, ბ - მოდიფიკატორში A დამუშავებული, მოდიფიკატორში B დამუშავებული.

მერინოსის ჯიშის ცხვრის მატყლის შემთხვევაში კი - უპირატესად, ტალღისებური, ბრტყელი და ნორმალური კლაკნილობის ბოჭკოებია (ნახაზი 3.9). მოდიფიკატორებში დამუშავების შემდეგ კლაკნილობა აქაც იმატეს. კერძოდ, ბრტყელი და ნორმალური კლაკნილობის ბოჭკოს წილი იზრდება. ამასთან, მოდიფიკატორის B ზემოქმედება მერინოსის ჯიშის ცხვრის მატყლზეც უფრო თვალნათელია.



ა



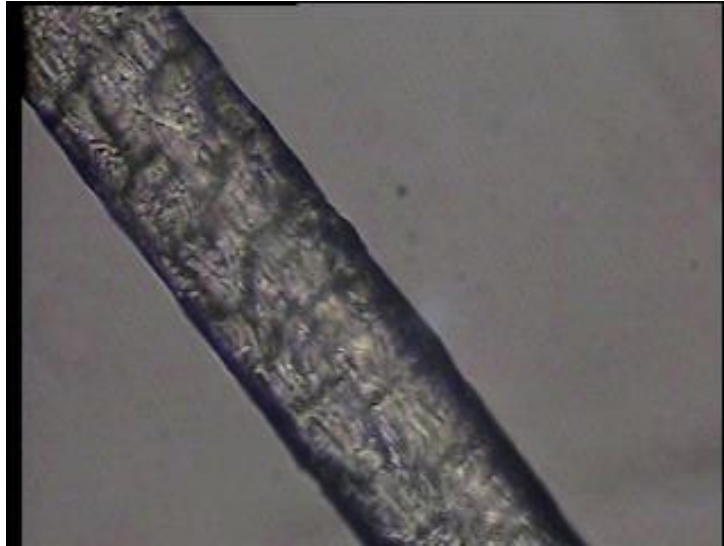
ბ



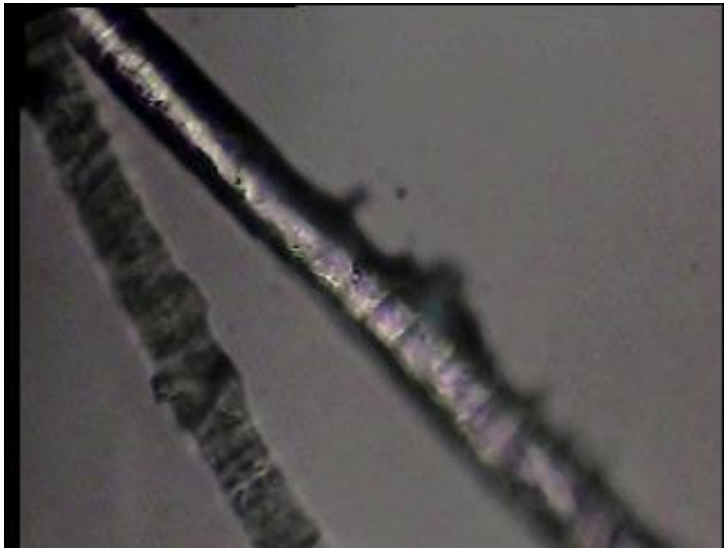
ბ

**ნახაზი 3.9.** მერინოსის ჯიშის ცხვრის მატყლის კლაკნილობა 4-ჯერადი გადიდებისას: ა - დაუმუშავებელი, ბ - მოდიფიკატორში A დამუშავებული, მოდიფიკატორში B დამუშავებული.

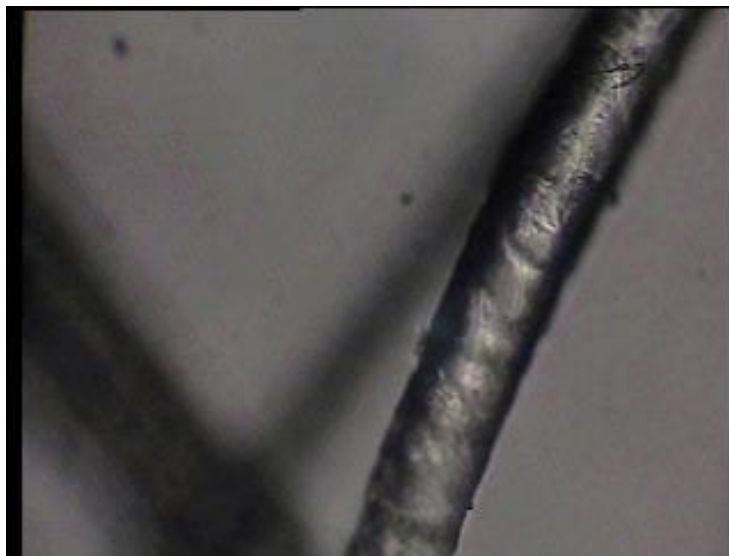
მოდიფიცირებული და არამოდიფიცირებული შალის ბოჭკოს ზედაპირული სტრუქტურის შესწავლისათვის გამოყენებულ იქნა ელექტრო მიკროსკოპული კვლევის მეთოდი [83]. კვლევა განხორციელდა გერმანული ფირმის Human GmbH მიკროსკოპის Human.Scope Premium გამოყენებით. ბოჭკოს ზედაპირზე დაკვირვება განხორციელდა 800-ჯერადი (ნახაზი 3.9, ნახაზი 3.10) და 2000-ჯერადი (ნახაზი 3.11, ნახაზი 3.12) გადიდების პირობებში.



ა



ბ



გ

**ნახაზი 3.10.** ადგილობრივი ცხვრის დაუმუშავებელი (ა), მოდიფიკატორში A (ბ) და მოდიფიკატორში B (გ) დამუშავებული მატყლის ზედაპირული სტრუქტურა 800-ჯერადი გადიდებისას.

ნახაზზე 3.10 ნაჩვენებია ადგილობრივი ცხვრის დამუშავებელი (ა), მოდიფიკატორში A (ბ) და მოდიფიკატორში B (გ) დამუშავებული მატყლის ზედაპირული სტრუქტურა 800-ჯერადი გადიდებისას.

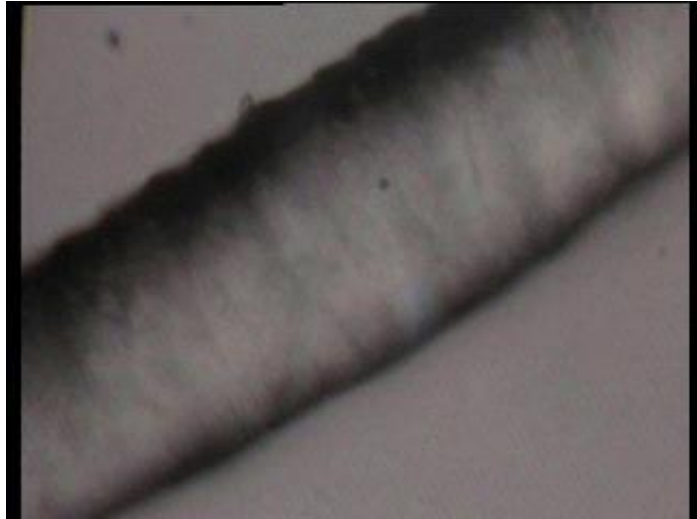
ნახაზიდან 3.10. ჩანს, რომ მოდიფიკატორებში დამუშავებისას ბოჭკოს სტრუქტურა მნიშვნელოვნად იცვლება. კერძოდ, ბოჭკო ხდება უფრო წვრილი. ამასთან, მოდიფიკატორში A დამუშავებისას ბოჭკო უფრო წვრილია, ვიდრე მოდიფიკატორში B დამუშავებისას. ეს ადასტურებს ჩვენს მოსაზრებას იმის თაობაზე, რომ მოდიფიკატორებში დამუშავებისას ბოჭკოს სტრუქტურული ცვლილებები ბოჭკოს შემადგენელი ცილოვანი პოლიმერის - კერატინის პირველადი სტრუქტურის დონეზე მიმდინარეობს, რის შედეგადაც სტრუქტურა უფრო მოწესრიგებული, ორგანიზებული და სტრუქტურირებული ხდება. შედეგად თავად ბოჭკო უფრო წვრილია, ხოლო როგორც უკვე აღინიშნა, წვრილი (წმინდა) ბოჭკო უკეთ ითელება. საგულისხმო და მნიშვნელოვანი შედეგი აჩვენა ბოჭკოს ზედაპირული სტრუქტურის 2000-ჯერადი გადიდებისას დაკვირვებამ (ნახაზი 3.11).

როგორც ნახაზებიდან 3.11. ჩანს, მოდიფიკატორები მნიშვნელოვნად არ აზიანებენ ბოჭკოს „ქერცლოვან“ შრეს, რის გამოც ბოჭკოს თელვის უნარი არ უარესდება და თელვის პროცესიც არ ფერხდება. შეგვიძლია დაბეჯითებით აღვნიშნოთ, რომ მოდიფიკატორები „რბილ“ ზემოქმედებას ახდენენ ბოჭკოზე: არ იწვევენ ზედაპირული სტრუქტურის დაზიანებას; ამასთან, თავად ბოჭკოს სტრუქტურა უფრო მოწესრიგებული და ორიენტირებული ხდება, რაც მისი სიწმინდის ზრდას იწვევს. შედეგად, თელვის ხარისხი უმჯობესდება.

ანალოგიური შედეგები აჩვენა ქარხნული დამუშავების მერინოსის ჯიშის შალის ბოჭკოს ზედაპირული სტრუქტურის კვლევამ (ნახაზი 3.12, ნახაზი 3.13).

ნახაზიდან 3.12. ჩანს, რომ მერინოსის ჯიშის ცხვრის მატყლის შემთხვევაშიც მოდიფიკატორებში დამუშავებისას ბოჭკოს სტრუქტურა უფრო წვრილი ხდება. ამასთან, მოდიფიკატორში A დამუშავებისას ბოჭკო უფრო წვრილია, ვიდრე მოდიფიკატორში B დამუშავებისას. თავად ბოჭკოს ზედაპირი კი - აღნიშნულ შემთხვევაში კიდევ უფრო ნაკლებად ზიანდება (ნახაზი 3.13).





ა

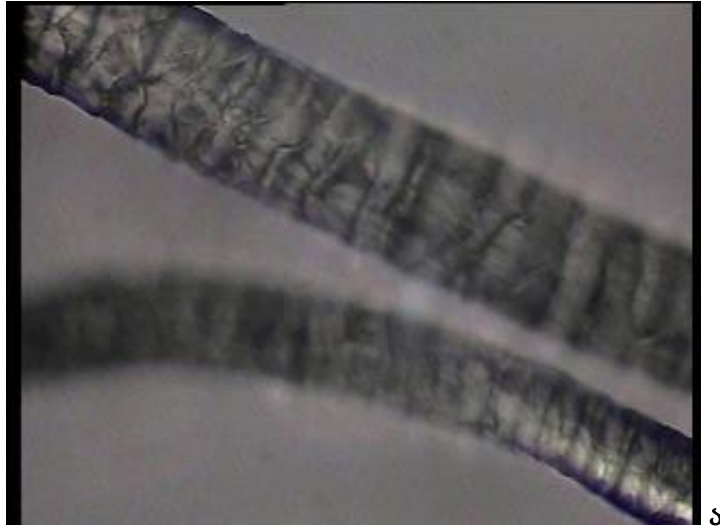


ბ



გ

**ნახაზი 3.11.** ადგილობრივი ცხვრის დაუმუშავებელი (ა), მოდიფიკატორში A (ბ) და მოდიფიკატორში B (გ) დამუშავებული მატყლის ზედაპირული სტრუქტურა 2000-ჯერადი გადიდებისას.



ა



ბ



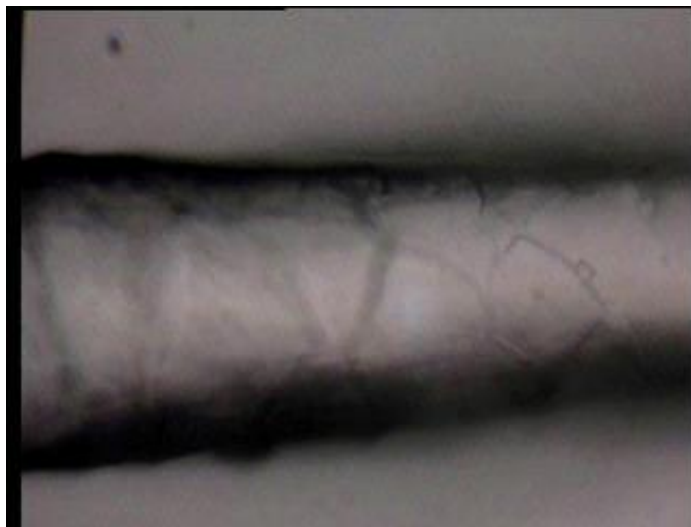
გ

**ნახაზი 3.12.** მერინოსის ჯიშის ცხვრის დაუმუშავებელი (ა), მოდიფიკატორში A (ბ) და მოდიფიკატორში B (გ) დამუშავებული მატყლის ზედაპირული სტრუქტურა 800-ჯერადი გადიდებისას.

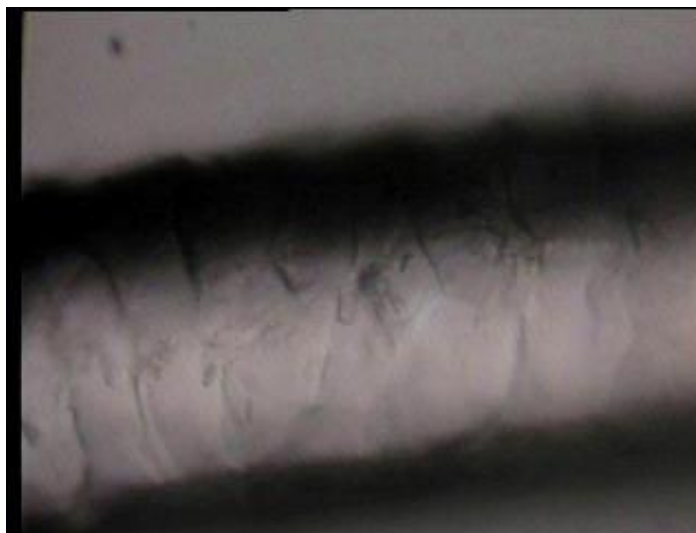




ა



ბ



გ

**ნახაზი 3.13.** მერინოსის ჯიშის ცხვრის დაუმუშავებელი (ა), მოდიფიკატორში A (ბ) და მოდიფიკატორში B (გ) დამუშავებული მატყლის ზედაპირული სტრუქტურა 2000-ჯერადი გადიდებისას.

ამრიგად, მოდიფიცირებული და არამოდიფიცირებული შალის მიკროსკოპულმა კვლევამ აჩვენა, რომ მოდიფიკატორები ბოჭკოს შემადგენელი ცილოვანი პოლიმერის - კერატინის პირველადი სტრუქტურის დონეზე იწვევენ ცვლილებებს, რის შედეგადაც ბოჭკო უფრო სტრუქტურირებული და მოწესრიგებული ხდება, რაც მისი სიწმინდის (სიწვრილის) მაჩვენებლის ზრდაში ვლინდება. ამასთან, მოდიფიკატორების ბოჭკოზე ზემოქმედება „რბილია“, რის შედეგადაც თავად ზედაპირული სტრუქტურა - „ქერცლოვანი შრე“ არ ზიანდება. ამდენად, ერთის მხრივ ბოჭკოს სიწმინდის ზრდა და მეორეს მხრივ, - ზედაპირული სტრუქტურის ურღვევობა, თელვის პროცესის ეფექტურად განხორციელებას უზრუნველყოფს.

### 3.2. შალის მოდიფიცირებისა და თელვის რაციონალური პირობების განსაზღვრა

შალის მოდიფიცირებისა და თელვის რაციონალური ტექნოლოგიური პარამეტრების დასადგენად შესრულდა მეორე რიგის ორფაქტორიანი ექსპერიმენტის დაგეგმარება [75]. ფაქტორების მნიშვნელობები და მათი ვარირების დონეები მოცემულია ცხრილში 3.8.

ცხრილი 3.8.

ფაქტორების დასახელება და მათი ვარირების დონეები

ფაქტორების დასახელება	ვარირების დონეები					ვარირების ინტერვალი
	-1,414	-1,0	0	+1,0	+1,414	
X <sub>1</sub> -მოდიფიკატორის კონცენტრაცია, %	0	0,5	1,5	2,5	3	1
X <sub>2</sub> -თელვის ინტენსივობა, ციკლი	400 (25)	800 (50)	1600 (100)	2400 (150)	2800 (175)	800 (50)

გამომავალ პარამეტრებად შერჩეულ იქნა თელვის ხარისხის მახასიათებელი სიდიდე - თქის სიმჭიდროვე მგ/სმ<sup>3</sup>(სამჯერადი განმეორების საშუალო მნიშვნელობა):

$\bar{Y}_1$  – მოდიფიკატორში - A წინასწარ დამუშავებული შალისაგან დამზადებული თექის სიმჭიდროვე;

$\bar{Y}_2$  – მოდიფიკატორში - B წინასწარ დამუშავებული შალისაგან დამზადებული თექის სიმჭიდროვე;

$\bar{Y}_3$  – მოდიფიკატორში - A თელვისას დამუშავებული შალისაგან დამზადებული თექის სიმჭიდროვე;

$\bar{Y}_4$  – მოდიფიკატორში - B თელვისას დამუშავებული შალისაგან დამზადებული თექის სიმჭიდროვე.

თელვისათვის გამოყენებულ იქნა მოდიფიკატორებში წინასწარ დამუშავებული შალი და დაუმუშავებელი შალი, რომლის მოდიფიცირება ხდებოდა უშუალოდ თელვის პროცესში. თელვისათვის გამოყენებულ იქნა მერინოსის შალის ფთილა, რომელიც სამ შრედ თავსდება 12 სმ X 9 სმ ზომის ჩარჩოში. თელვა წარმოებდა თითოეული გვერდის გასწვრივ რულონად დახვეული მასალის სახით წაღმა-უკუღმა-წაღმა-უკუღმა მდგომარეობაში.

ექსპერიმენტის გეგმის რეალიზაციის შედეგად მიღებული მონაცემები მოცემულია ცხრილში 3.9.

ცხრილი 3.9.

დაგეგმარების მატრიცა და ექსპერიმენტალური მონაცემების მნიშვნელობები

N	ფაქტორები		$\bar{Y}_1$	$\bar{Y}_2$	$\bar{Y}_3$	$\bar{Y}_4$
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>				
1.	+	+	130,2083	142,86	104,89	108,642
2.	-	+	123,6264	102,56	138,46	32,36
3.	+	-	126,2626	139,86	118,42	98,10
4.	-	-	122,449	84,65	50,50	29,93
5.	-1,414	0	114,2857	89,54	48,31	61,54
6.	+1,414	0	111,1111	225,64	87,72	104,76
7.	0	-1,414	125,6457	114,28	60,61	47,75
8.	0	+1,414	117,6471	352,02	160,03	153,84
9.	0	0	113,1222	128,94	91,09	107,45
10.	0	0	127,3345	113,36	107,14	108,64

11.	0	0	122,2411	141,02	86,58	96,70
12.	0	0	118,4211	120,71	89,91	103,47
13.	0	0	120	125,71	96,15	102,56

ექსპერიმენტის ჩატარების შედეგად მიღებული მონაცემების სტატისტიკური დამუშავების გზით მიღებულ იქნა 95%-იანი ნდობის ალბათობის მქონე ადექვატური რეგრესიის გამოსახულებები:

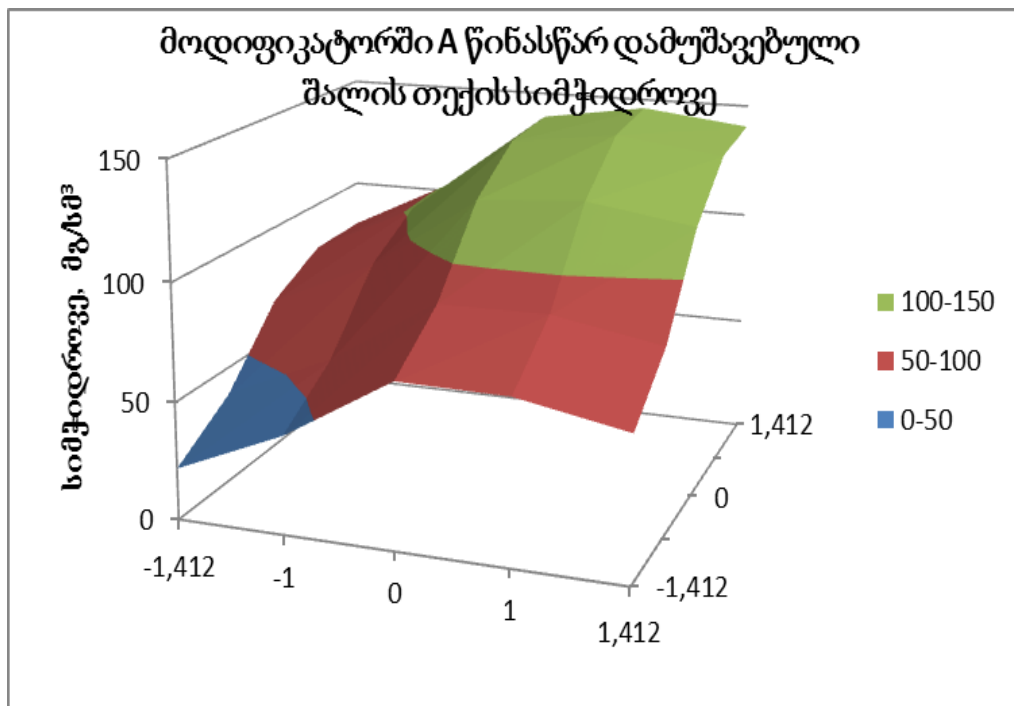
$$\bar{Y}_1 = -14,35X_1^2 - 7,9X_2^2 + 17,58X_1 + 24,46X_2 + 120,25$$

$$\bar{Y}_2 = -14,81X_1^2 - 10,36X_2^2 + 16,7X_1 + 33,95X_2 + 126$$

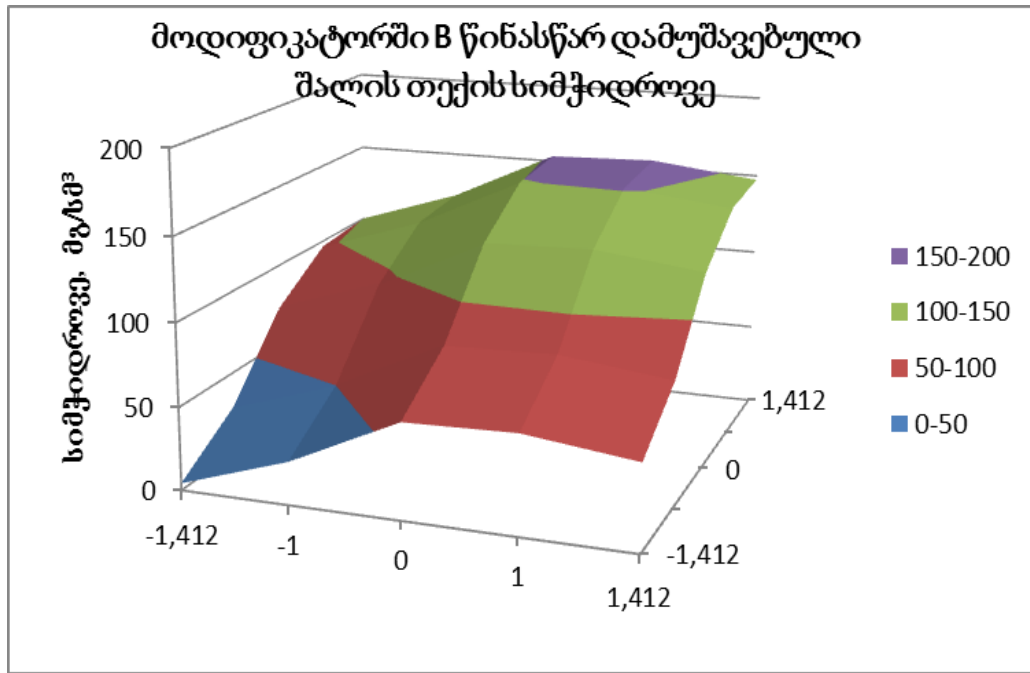
$$\bar{Y}_3 = -10,5X_1^2 - 7,4X_2^2 + 16,3X_1 + 21,9X_2 + 95,2$$

$$\bar{Y}_4 = -12,9X_1^2 - 5,1X_2^2 + 36,8X_2 + 103,8$$

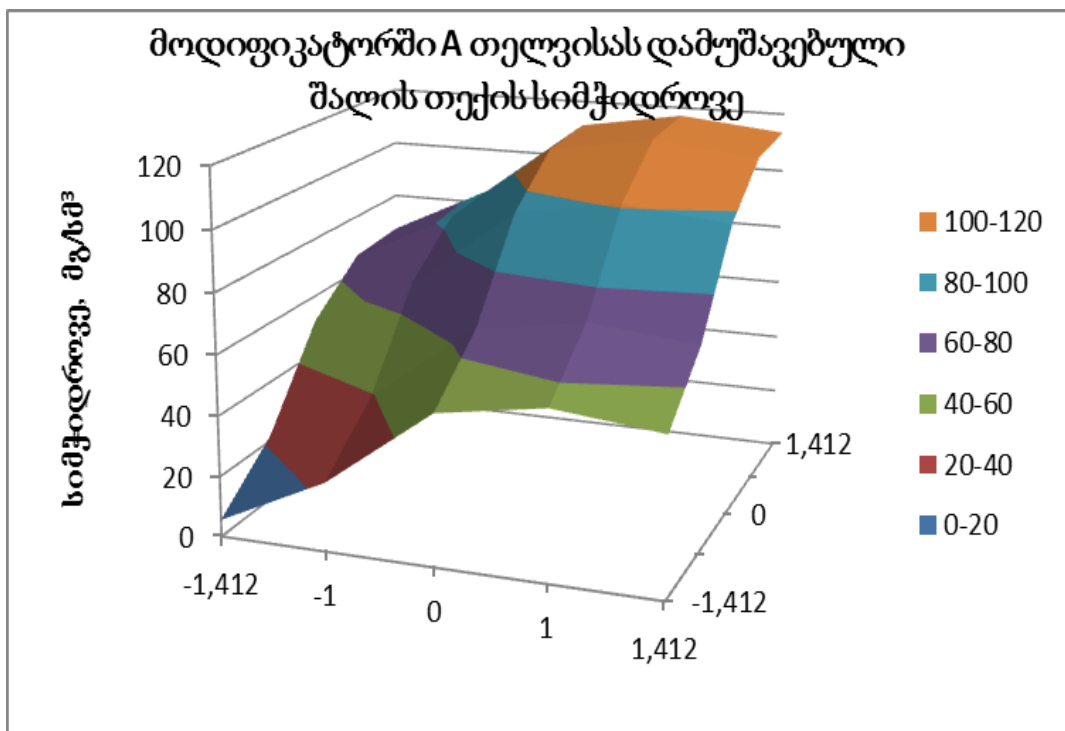
მიღებული გამოსახულებების გამოყენებით ავაგეთ თექის სიმჭიდროვის დონის წირები - მოდიფიკატორის კონცენტრაციისა და თელვის ინტენსივობის ზეგავლენა თელვის ხარისხზე - თექის სიმჭიდროვეზე (ნახაზი 3.14-3.17).



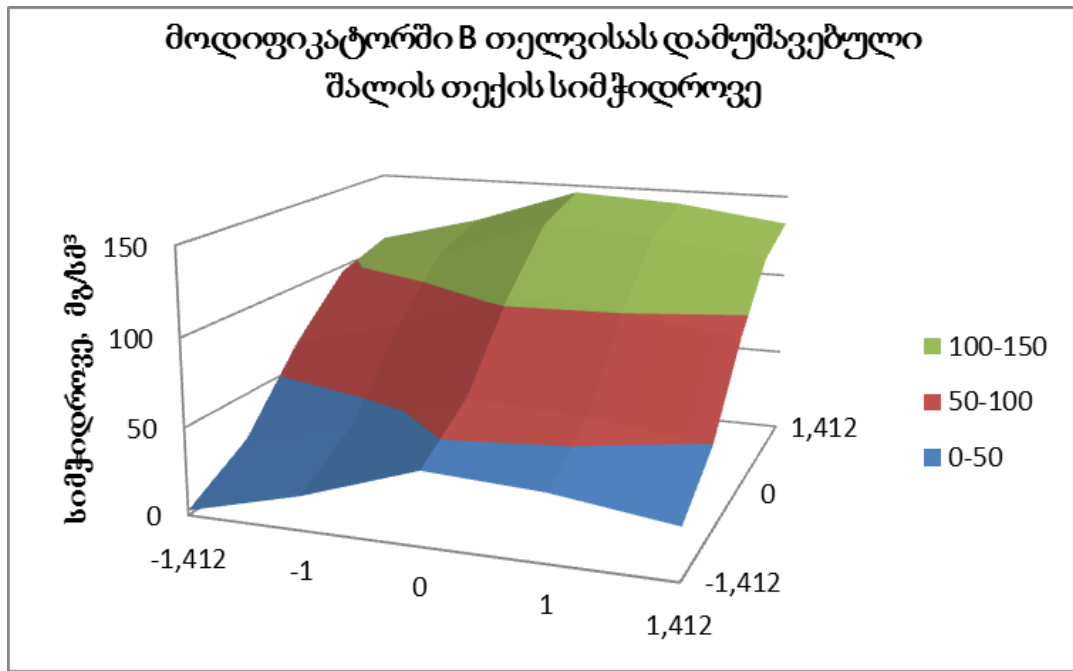
ნახაზი 3.14. მოდიფიკატორში - A წინასწარ დამუშავებული შალის თექის სიმჭიდროვის არეკვლის ზედაპირი.



ნახაზი 3.15. მოდიფიკატორში - B წინასწარ დამუშავებული შალის თექის სიმჭიდროვის არეკვლის ზედაპირი.



ნახაზი 3.16. მოდიფიკატორში - A თელვისას დამუშავებული შალის თექის სიმჭიდროვის არეკვლის ზედაპირი.



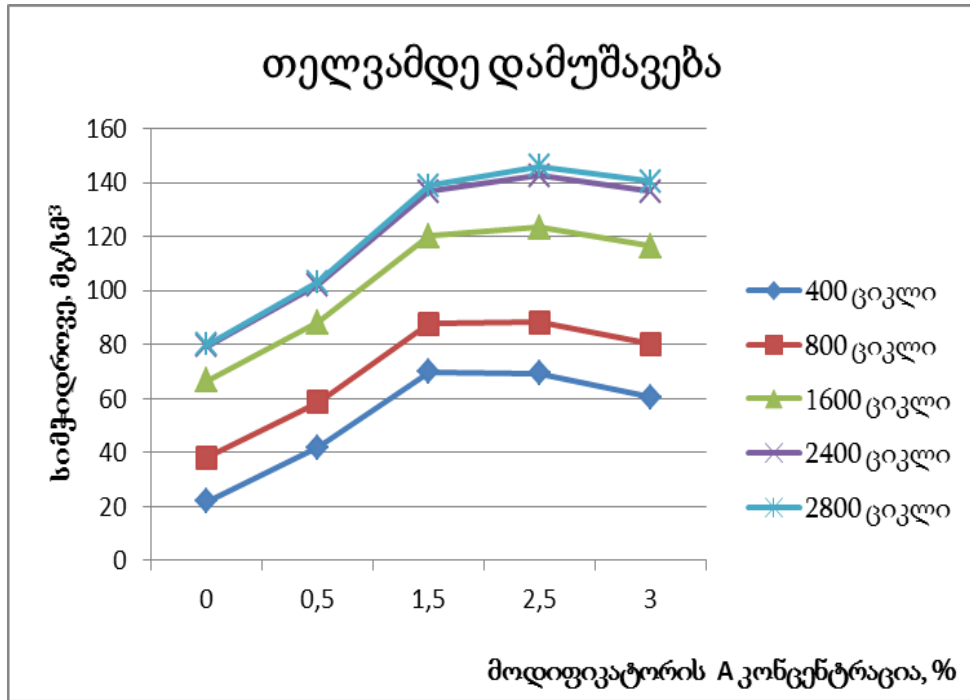
**ნახაზი 3.17.** მოდიფიკატორში B წინასწარ დამუშავებული შალის თექის სიმჭიდროვის არეკვლის ზედაპირი.

ნახაზებიდან 3.14-3.17 ჩანს, რომ არეკვლის ზედაპირები ელიფსურ პარაბოლოიდებს წარმოადგენენ. ამასთან, ფუნქციას პარაბოლური ხასიათი და ექსტრემალური მნიშვნელობა აქვს მოდიფიკატორის კონცენტრაციაზე გამოკიდებულების კვეთაში, ხოლო თელვის ციკლის რაოდენობის კვეთაში ფუნქცია მაქსიმუმი მნიშვნელობის მიღწევის შემდეგ პლატოზე გადის.

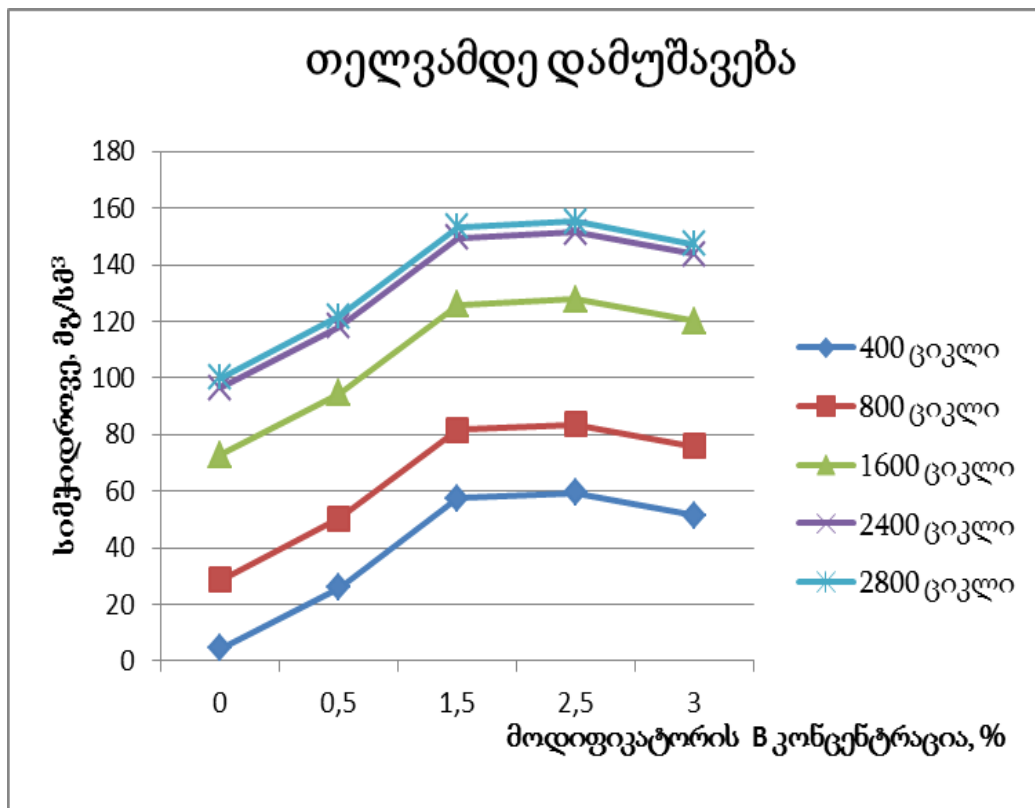
თელვის საუკეთესო ხარისხის მისაღწევად მოდიფიკატორის კონცენტრაციისა და თელვის ინტენსივობის განსაზღვრის მიზნით ავაგეთ არეკვლის ზედაპირების კვეთები (ნახაზი 3.18-3.19 ა,ბ,გ,დ) კონცენტრაციულ და თელვის ინტენსივობის ჭრილში. როგორც ნახაზიდან 3.18 (ა,ბ,გ,დ) ჩანს, რომ როგორც თელვამდე დამუშავებული შალის გამოყენებისას, ასევე თელვის პროცესში მოდიფიცირებული შალის გამოყენებისას, მოდიფიკატორში დამუშავების ოპტიმალური მნიშვნელობა ექსპერიმენტის ცენტრშია, რასაც შეესაბამება მოდიფიკატორის კონცენტრაცია 1,5%. კონცენტრაციის შემდგომი ზრდა, თელვის ხარისხის გაუმჯობესებას არ იწვევს.

არეკვლის ზედაპირის კვეთა მოდიფიკატორის კონცენტრაციის ჭრილში აჩვენებს, რომ როგორც თელვამდე დამუშავებული შალის გამოყენებისას, ასევე თელვის პროცესში მოდიფიცირებული შალის გამოყენებისას, თექის სიმჭიდროვე თელვის ინტენსივობის ზრდასთან ერთად იზრდება. ამასთან, 2000 ციკლის შემდეგ

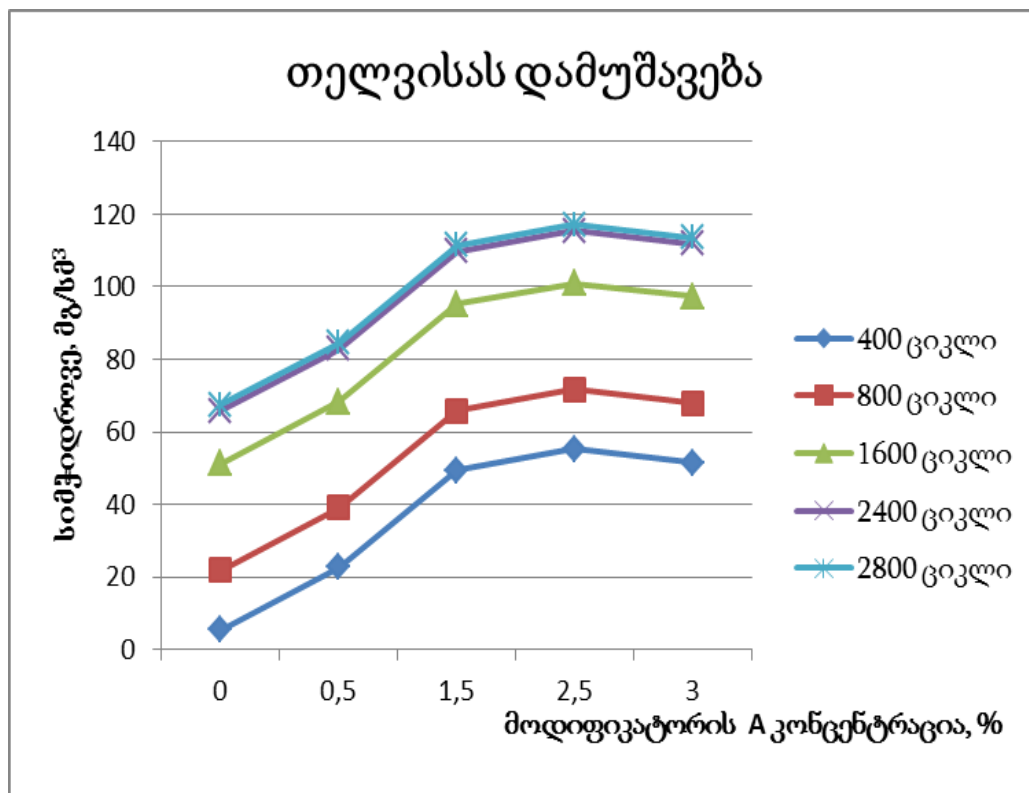
გრაფიკები პლატოზე გადის, ე.ი. თელვის ინტენსივობის შემდგომი ზრდა თელვის ხარისხზე მნიშვნელოვან გავლენას აღარ ახდენს (ნახაზი 3.19 ა,ბ,გ,დ).



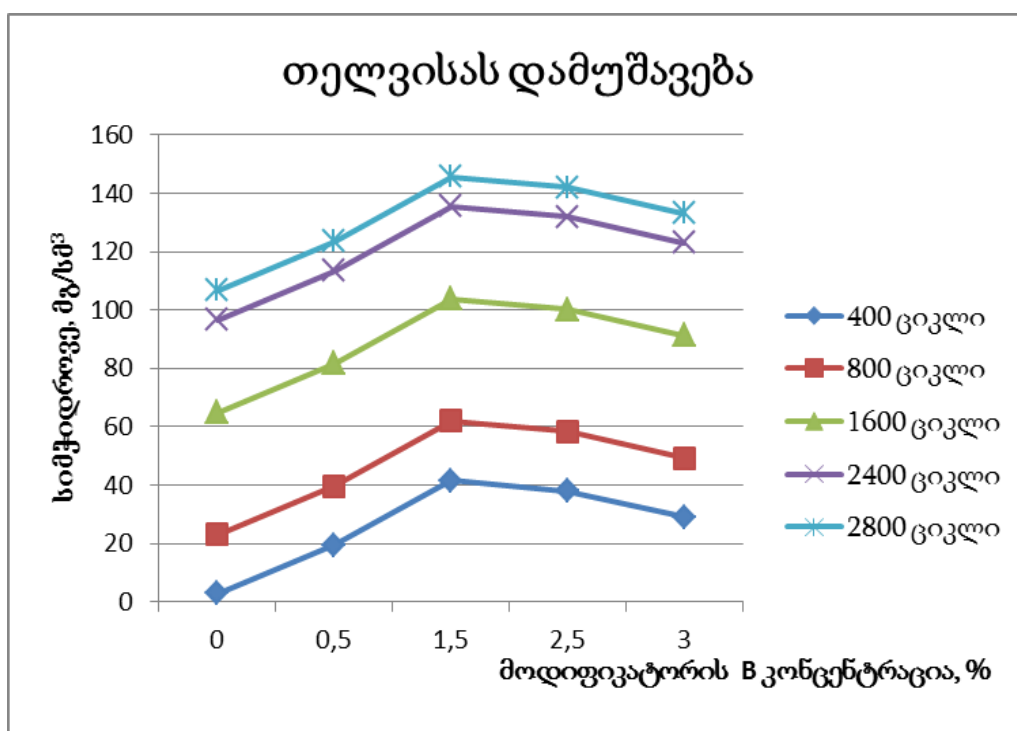
ა



ბ



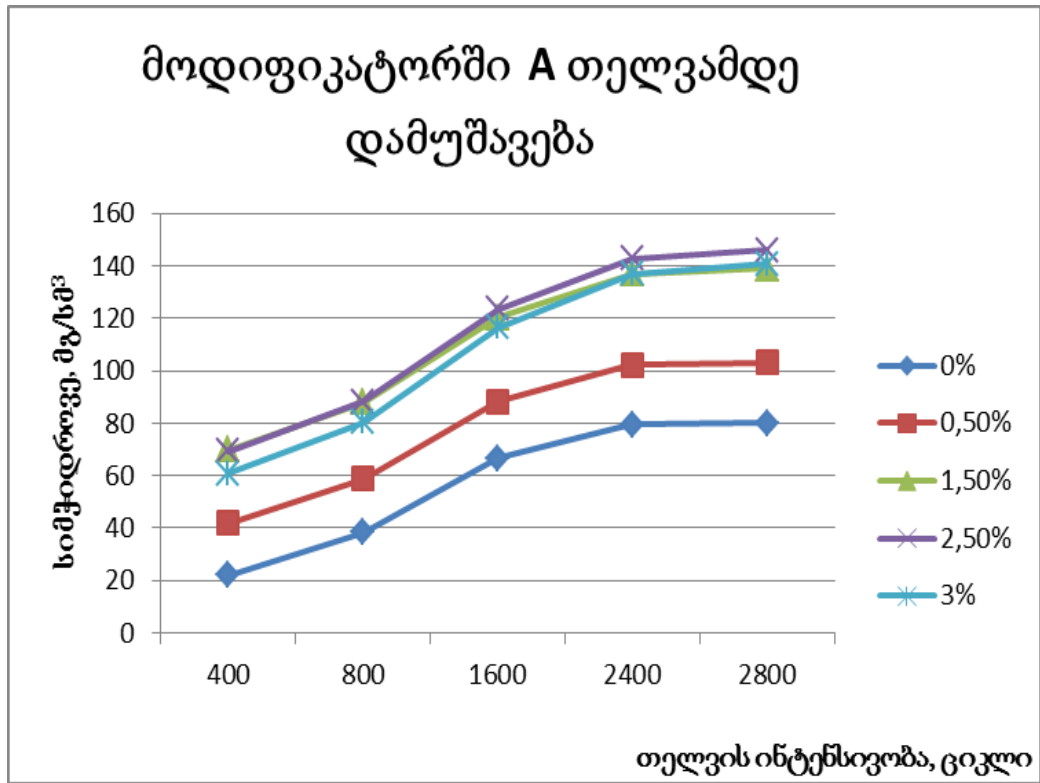
ბ



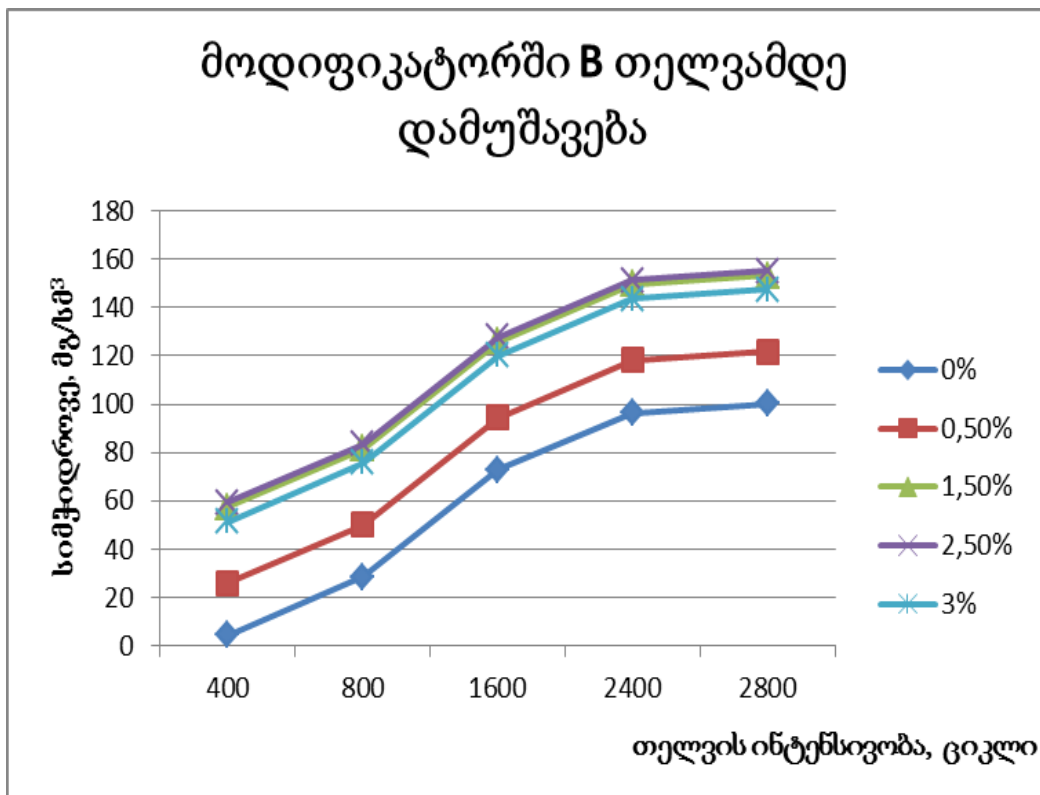
დ

ნახაზი 3.18. არეკვლის ზედაპირის კვეთა თელვის ინტენსივობის ჭრილში.

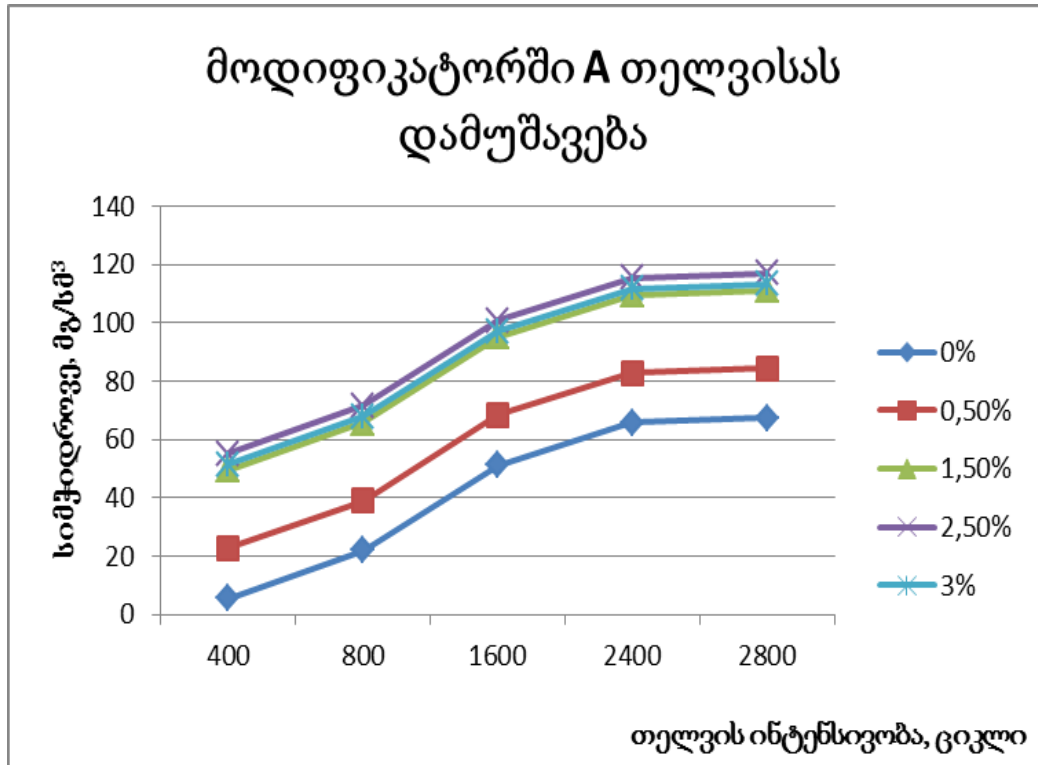




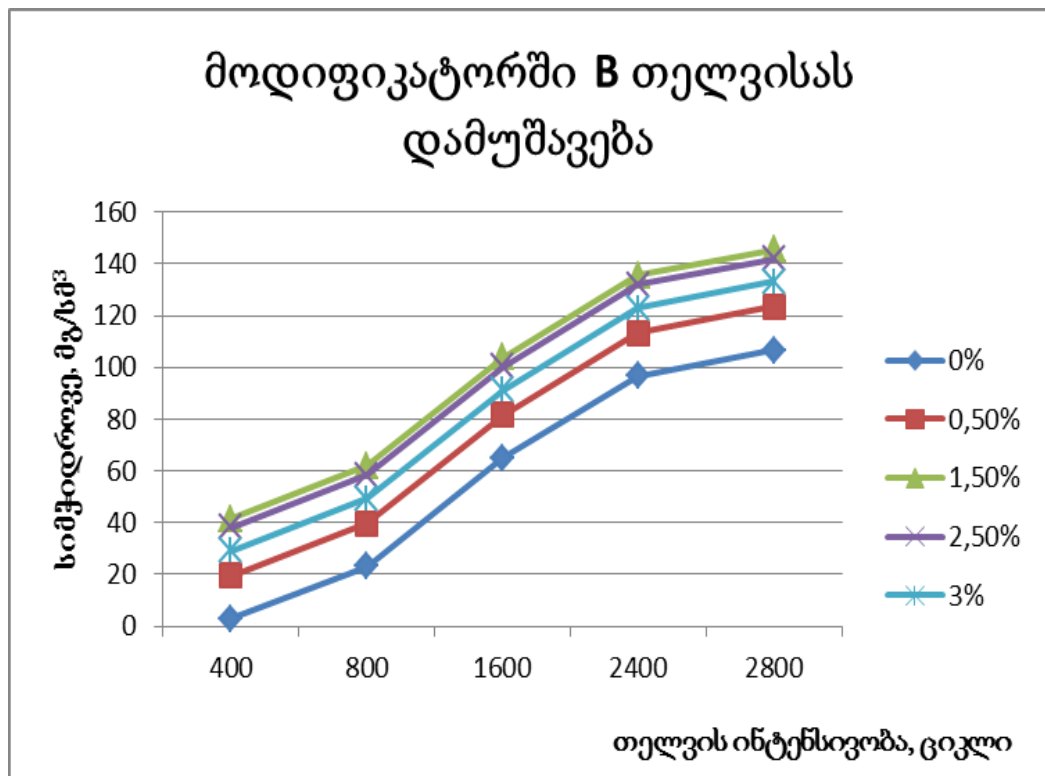
ა



ბ



ბ



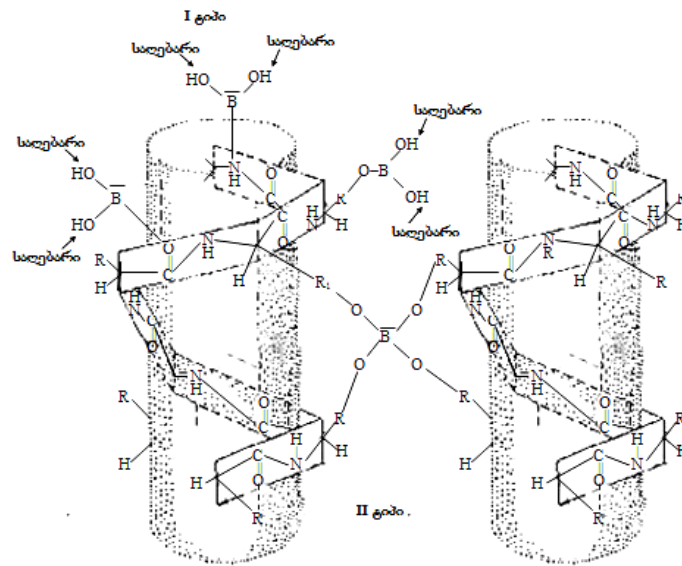
გ

ნახაზი 3.19. არეკვლის ზედაპირის კვეთა მოდიფიკატორის კონცენტრაციის ჭრილში.

ამრიგად, ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმარების გზით მიღებულია თელვის პროცესის ადექვატური მოდელი, რომელიც აჩვენებს, რომ როგორც თელვამდე მოდიფიცირებული, ასევე თელვისას მოდიფიცირებული შალის გამოყენებისას, საუკეთესო ხარისხის თექის მისაღებად, თელვის რაციონალური პირობებია 1,5% მოდიფიკატორში დამუშავება და თელვა 2000 ციკლით.

### **3.3. მოდიფიცირებული შალის ბუნებრივი საღებრებით კოლორირების კვლევა**

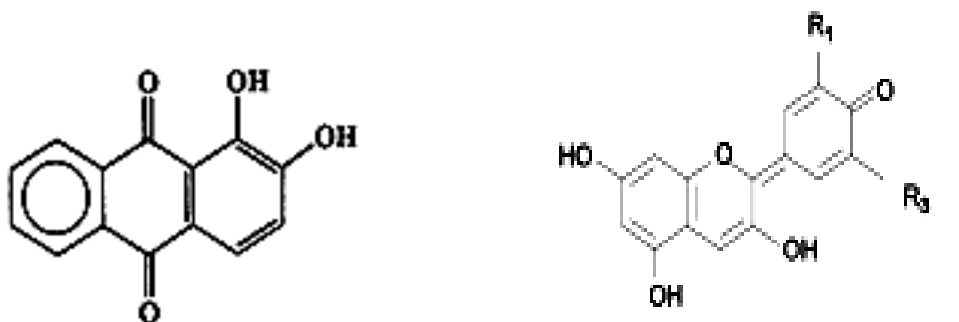
ფუნქციონალური, კარგი სამომხმარებლო მახასიათებლებისა და ესთეტიკურად მიმზიდველი თექის დამზადების მიზნით განხორციელებული კვლევები ახალი მასალებისა და მოწყობილობების გამოყენებას, მოდიფიცირებული შალის ბოჭკოს ფიზიკურ-მექანიკური და კოლორისტული თვისებების ცვლილებას უკავშირდება. თექის დამზადებისას, ერთის მხრივ, საჭიროა მაქსიმალურად დაუზიანებლად იქნას შენარჩუნებული ბოჭკოს სტრუქტურა, მეორეს მხრივ კი - უზრუნველყოფილ უნდა იქნას სასურველი ფიზიკურ-მექანიკური, სამომხმარებლო და კოლორისტული თვისებების მქონე ნაწარმის მიღება. ამ მიზნის რეალიზაციის ერთ-ერთი ხერხია მოდიფიცირებული ბოჭკოს გამოყენება. რიგი კვლევის შედეგები აჩვენებენ, რომ ცილოვანი ბოჭკოების ბორის შემცველ მოდიფიკატორებში დამუშავება უზრუნველყოფს შეღებილობის ხარისხისა და კოლორიმეტრული მახასიათებლების გაუმჯობესებას პირდაპირი და მჟავური საღებრებით ღებვისას [17, 18, 84-87]. ბორაქსში შალის, ნატურალური აბრეშუმისა და პოლიამიდის დამუშავების შემდეგ ბოჭკოს ზედაპირზე ბორატ-იონის სახით დამატებითი აქტიური ცენტრების წარმოქმნა ბოჭკოს ეფექტური მოცულობის ზრდას უწყობს ხელს და შესაბამისად, საღებრის დამატებითი რაოდენობის მიერთებას განაპირობებს (ნახაზი 3.20).



**ნახაზი 3.20.** ბორის შემცველი აქტიური ცენტრები კერატინის სტრუქტურაში.

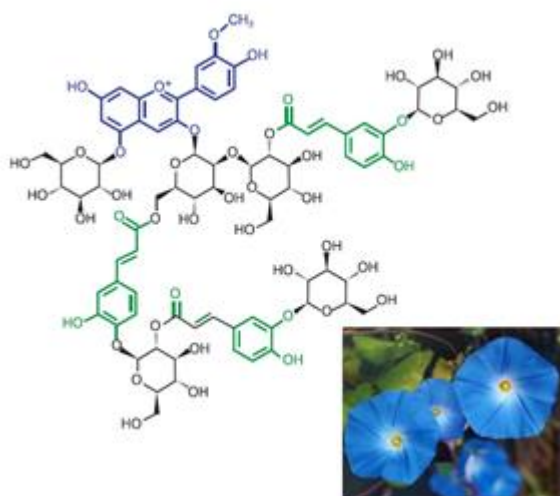
აღნიშნული მოსაზრება დადასტურებულია პირდაპირი და მჭავური საღებრებით შეღებილი ბორაქსში დამუშავებული და დაუმუშავებელი შალის, ნატურალური აბრეშუმისა და პოლიამიდის ბოჭკოს იწ-სპექტროსკოპიის მეთოდით კვლევისას [17, 18]. ვფიქრობთ, მოდიფიცირებული შალის ზედაპირზე არსებული ბორატ იონები ბუნებრივი საღებრის მოლეკულისთვისაც დამატებითი აქტიური ცენტრი იქნება.

ამასთან, ჩვენს მიერ გამოყენებული ბუნებრივი პიგმენტების, როგორცაა ენდრო, კურკუმა, ზაფრანა, ხახვის ფოთოლი, ქიმიური ფორმულების განხილვისას ნათელია, რომ ისინი მრავლად შეიცავენ ისეთ ატომებსა და ფუნქციურ ჯგუფებს, რომელთაც ბორის ნაწარმებთან კომპლექსნაერთების წარმოქმნა შეუძლიათ (ნახაზი 3.21.) [88].



ა

ბ



ბ

**ნახაზი 3.21.** ბუნებრივი პიგმენტების სტრუქტურული ფორმულები:  
ა-ენდრო, ბ-კურკუმა, გ-ანტრაციონები.

ამდენად, შეგვიძლია ვიფიქროთ, რომ შალის მოდიფიცირება ბუნებრივი პიგმენტების ღებვასა და მიღებული შედეგილობების ხარისხზეც მოახდენს ზეგავლენას.

### 3.3.1. შალის ბუნებრივი საღებრებით ღებვის პროცესის კვლევა

წარმოდგენილი კვლევის ფარგლებში შესწავლილ იქნა მოდიფიცირებული და არამოდიფიცირებული შალის ბოჭკოს ღებვის თავისებურებები ბუნებრივი პიგმენტების გამოყენებისას. შალის მოდიფიცირება განვახორციელეთ ორი სახის მოდიფიკატორის გამოყენებით - A და B მოდიფიკატორები. შალის ბოჭკო დავამუშავეთ 0,5%, 1,0% და 2,0% კონცენტრაციის ხსნარებში ოთახისა და 85°C ტემპურტურაზე.

დაუმუშავებელი და მოდიფიცირებული შალი შევღებეთ პერიოდული ხერხით 1 სთ-ის განმავლობაში 85-90°C-ზე ღებვის მოდულის M=50 პირობებში. ღებვა ვაწარმოეთ მჟავა, ნეიტრალურ და ტუტე გარემოში.

საღებრად შერჩეულ იქნა ბუნებრივი წითელი და ყვითელი საღებრები - ენდროს, კურკუმას, ჰიბისკუსისა და ხახვის ფოთლებისაგან მიღებული პიგმენტები.

კვლევის I ეტაპზე მოვახდინეთ ღებვის პირობების (ღებვის გარემო, დრო და ტემპერატურა) შეღებილი ნიმუშების კოლორიმეტრულ მახასიათებლებზე ზეგავლენის კვლევა. შევისწავლეთ კოლორიმეტრულ მახასიათებლებზე ღებვის გარემოს ზეგავლენა. მოდიფიცირებული და არამოდიფიცირებული შალის რებვა ვაწარმოეთ ნეოტრალურ, ტუტე და მჟავა გარემოში.

მოდიფიცირებული და არამოდიფიცირებული შალის სხვადასხვა გარემოში ბუნებრივი პიგმენტებით ღებვისას აღმოჩნდა, რომ ტუტე, მჟავა და ნეიტრალურ გარემოში ღებვისას მიღებული შეღებილობების ფერთა ტონი მკვეთრად განსხვავდება ერთმანეთისგან. კერძოდ, მჟავა გარემოში ღებვისას მიღებული შეფერილობების ნეიტრალურ გარემოში ღებვისას მიღებულ შეფერილობებთან შედარებისას აღმოჩნდა, რომ შეღებილობის ფერთა ტონი გრძელი ტალღის სიგრძეებისკენ (ყვითელი, ნარინჯისფერი, წითელი) ინაცვლებს, ე.ი. ადგილი აქვს ბატოქრომულ ეფექტს და შეღებილობა უფრო გაჯერებული და ღრმაა. ნეიტრალურ გარემოში ღებვისას მიღებული შეფერილობის შედარებისას ტუტე გარემოში ღებვისას მიღებულ შეფერილობასთან აღმოჩნდა, რომ შეღებილობის ფერთა ტონი მოკლე ტალღის სიგრძისკენ (ცისფერი, ლურჯი) ინაცვლებს და შეფერილობა ნაკლებად გაჯერებული და ბაცი ხდება.

შესწავლილ იქნა სხვადასხვა გარემოში ბუნებრივი საღებრებით (პიგმენტებით) შალის ღებვისას მიღებული შეღებილობის ინტენსივობის ცვლილება და მისი მოდიფიკატორების კონცენტრაციაზე დამოკიდებულება. შეღებილი შალის ბოჭკოს შეღებილობის ინტენსივობის მნიშვნელობები ნაჩვენებია ცხრილში 3.10. ცხრილიდან 3.10 ჩანს, რომ 0,5-1,0% მოდიფიკატორში დამუშავებული ბოჭკოს შეღებილობის ინტენსივობები დაუმუშავებელთან შედარებით მეტია. ვფიქრობთ ეს ბოჭკოზე ბორის ნაერთების მეშვეობით წარმოქმნილ დამატებითი აქტიური ცენტრების არსებობას უკავშირდება. მოდიფიკატორის კონცენტრაციის შემდგომი ზრდისას შეღებილობის ინტენსივობა იკლებს. ვფიქრობთ, ბორის ნაერთების მეშვეობით ხდება მოლეკულათაშორისი კავშირების წარმოქმნა შალის პოლიმერში და საღებრისათვის

„განკუთვნილი“ დამატებითი აქტიური ცენტრები მოლეკულათა შორის კავშირების განხორციელებას ემსახურება. შედეგად ბოჭკო უფრო სტრუქტურირებული და ორიენტირებული ხდება, ხოლო მიერთებული პიგმენტების რაოდენობა იკლებს.

ცხრილი 3.10

**პიგმენტებით შეღებილი შალის ბოჭკოს შეფერილობის ინტენსივობები (%)**

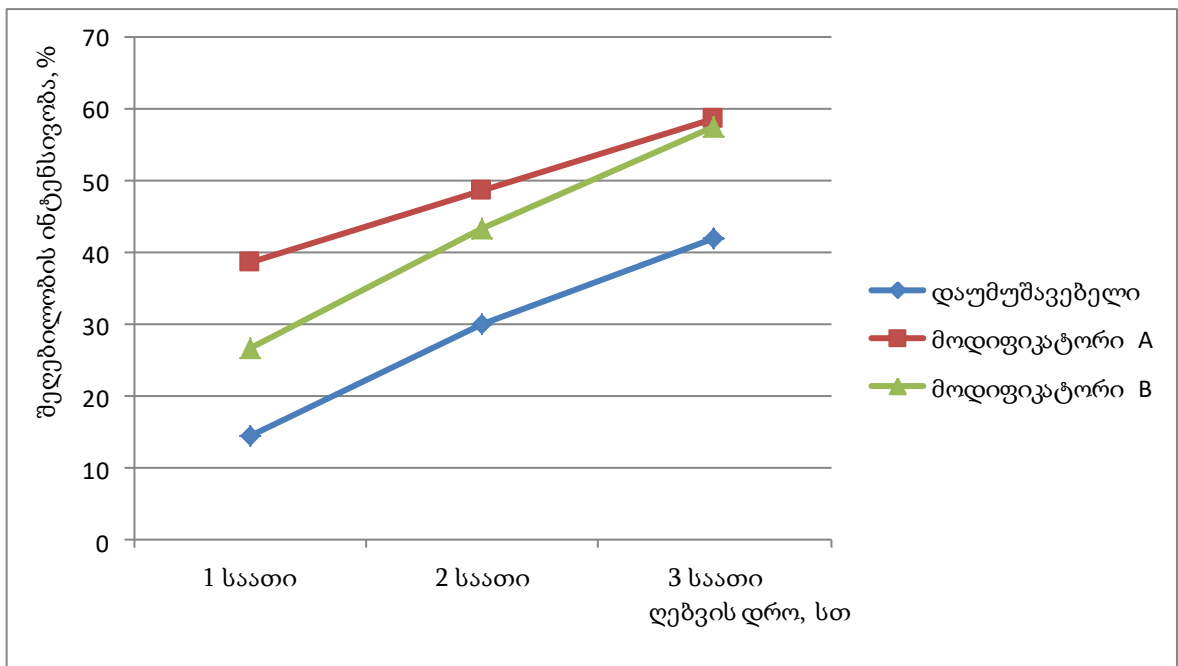
მოდIFIკატორი		MA				MB			
საღებარი		0%	0,5%	1,0%	2,0%	0%	0,5%	1,0%	2,0%
ენდრო	მჟავა	39,45	53,65	55,35	54,36	35,26	50,78	53,55	47,87
	ნეიტრალური	41,12	56,85	57,14	57,36	39,54	49,74	53,58	52,65
	ტუტე	42,15	54,15	58,67	58,88	40,11	52,85	57,62	55,16
ხახვის ფოთოლი	მჟავა	36,12	52,48	52,34	50,65	35,25	49,10	50,23	50,95
	ნეიტრალური	36,90	54,76	53,87	52,96	37,93	53,14	53,95	53,78
	ტუტე	38,15	55,56	57,47	56,85	38,60	5,37	56,64	51,37
კურკუმა	მჟავა	27,90	41,78	43,95	41,15	26,75	39,75	42,67	42,98
	ნეიტრალური	28,75	43,15	44,51	43,67	27,87	39,22	45,17	41,35
	ტუტე	30,45	47,25	46,44	45,43	30,11	44,33	46,87	46,48
ჰიბისკუსი	მჟავა	36,15	47,78	53,16	52,04	33,12	48,45	49,88	50,11
	ნეიტრალური	36,65	49,67	54,32	53,26	38,86	50,24	55,14	50,85
	ტუტე	37,12	50,35	56,38	54,65	39,98	53,78	57,56	51,64

როგორც ცხრილიდან 3.10 ჩანს, მოდიფიცირებული შალის ღებვისას შეფერილობის ინტენსივობის ზრდა 15 – 19 % დიაპაზონშია.

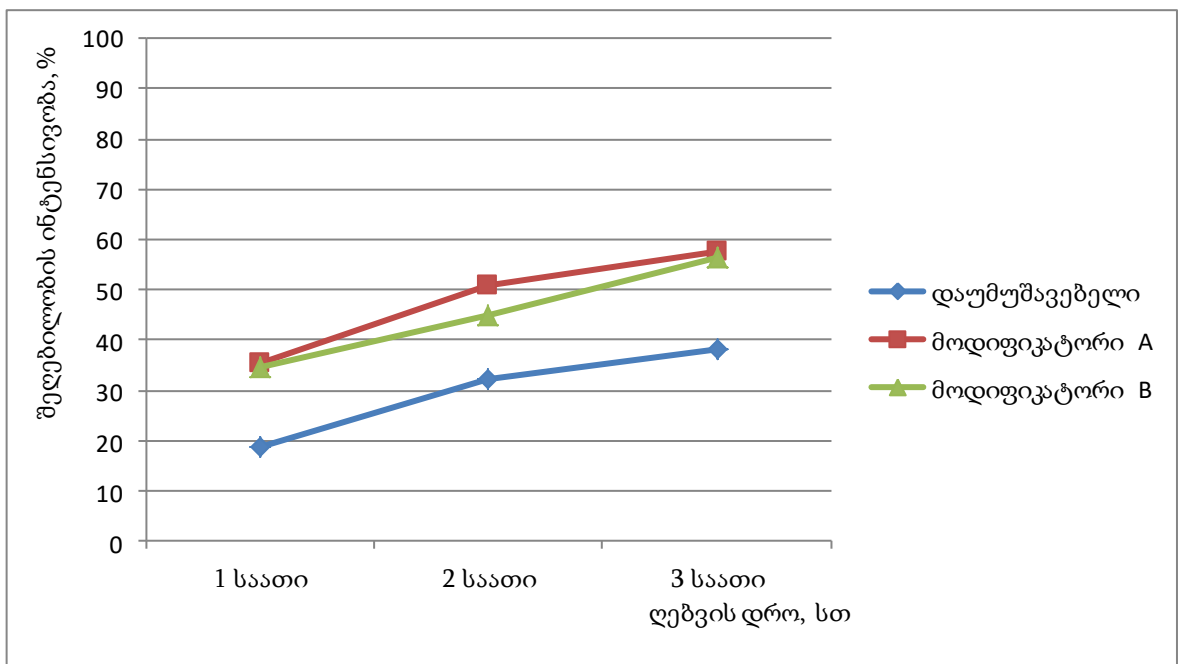
შევისწავლეთ შეღებილობის ინტენსივობის დამოკიდებულება ღებვის დროზე. ღებვას ვაწარმოებდით 85-90°C ტემპერატურაზე. ღებვის დრო ვცვალეთ 0,5-3 სთ დიაპაზონში. შედეგების ანალიზმა ცხადჰყო, რომ მაღალ ტემპერატურაზე ღებვისას შეღებილობის ინტენსივობა ღებვის დროის ზრდასთან ერთად თანდათანობით იზრდება და მაქსიმალური ინტენსივობა 3 საათიანი ღებვისას მიიღწევა (ნახაზი 3.22 ა-დ).

შეღებილობის ინტენსივობაზე ღებვის ტემპერატურის ზეგავლენის შესწავლისათვის ღებვა ვაწარმოეთ 85-90°C 3 საათის განმავლობაში და ოთახის ტემპერატურაზე 24 საათის განმავლობაში. აღმოჩნდა, რომ ცივი ღებვისას, როგორც მოდიფიცირებული, ასევე არამოდიფიცირებული შალის ბოჭკოსთვის, შეღებილობის ინტენსივობის მაქსიმუმზე გასვლა უფრო სწრაფად ხდება. ამასთან, ცივი ღებვის

შედეგად მიღებული შეფერილობების ინტენსივობა უფრო მაღალია, ვიდრე 85-90°C ტემპერატურაზე ღებვის შედეგად მიღებული შეფერილობის ინტენსივობები. აღნიშნული გამოვლინებები ცალკე შესწავლას საჭიროებს. ამ ეტაპზე კი-შესაძლებელია ვიფიქროთ, რომ მაღალ ტემპერატურაზე ღებვისას ადგილი აქვს ბუნებრივი პიგმენტების აგრეგაციას, რაც ხელს უშლის საღებრის ბოჭკოს სტრუქტურაში დიფუზიას და სორბციას. შედეგად ღებვის სიჩქარე და შეღებილობის ინტენსივობა ნაკლებია.

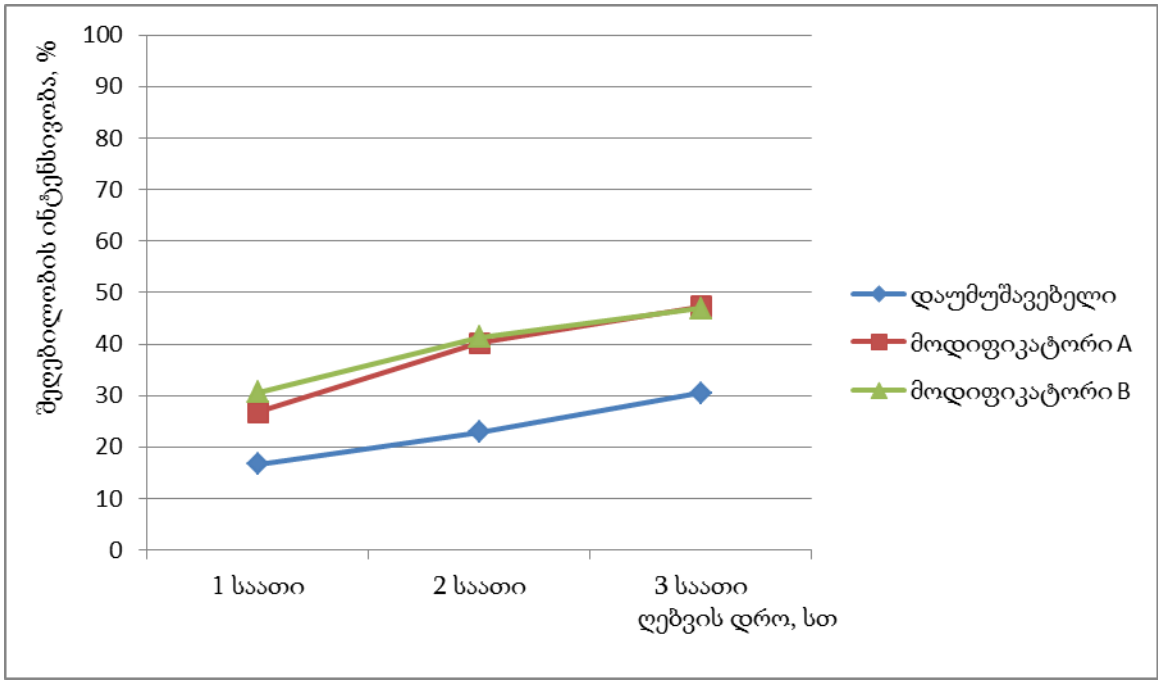


ა

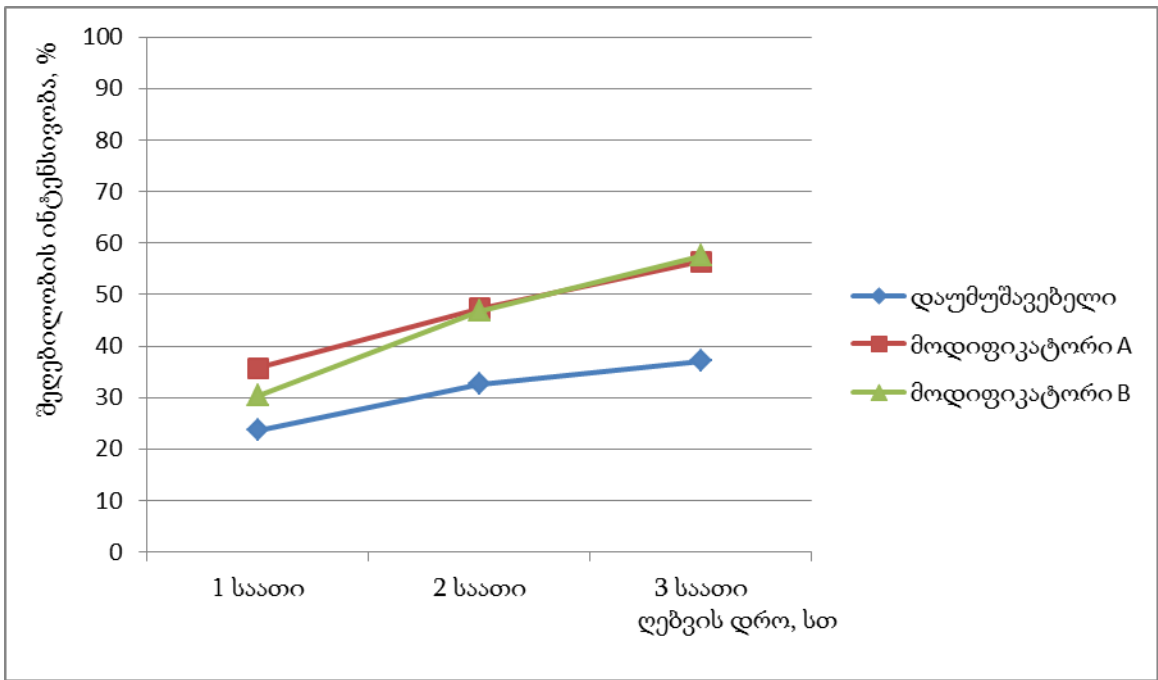


ბ





ბ



გ

**ნახაზი 3.22.** შეღებლობის ინტენსივობის დამოკიდებულება ღებვის დროზე: ა-ენდრო, ბ-ხახვის ფოთოლი, გ-კურკუმა, დ-ჰიბისკუსი.

ამრიგად, მოდიფიცირებული და არამოდიფიცირებული შალის ბოჭკოს ბუნებრივი პიგმენტებით ლეზვისას გამოიკვეთა, რომ შეფერილობის ფერთა ტონი და ინტენსივობა დამოკიდებულია ლეზვის გარემოზე, ლეზვის ტემპერატურასა და დროზე. ბუნებრივი წითელი და ყვითელი პიგმენტებით ლეზვის შედეგების ანალიზმა ცხადჰყო, რომ ღრმა და ინტენსიური შეღებილობის მისაღებად ლეზვა უნდა ვაწარმოოთ ტუტე გარემოში, ოთახის ტემპერატურაზე 2 საათის განმავლობაში. ამასთან, მოდიფიცირებული შალის ბოჭკოს შეფერილობის ინტენსივობა და შეღებილობის ხარისხი უკეთესია, ვიდრე არამოდიფიცირებული შალის ბოჭკოსა [89,90].

კვლევის II ეტაპზე შესწავლილ იქნა თავად ლეზვის პროცესის მიმდინარეობა. ლეზვის პროცესის კვლევისა და შეფასების მიზნით შევისწავლეთ სამღებრო ხსნარიდან საღებრის ამოკრების ხარისხი და თავად ბოჭკოზე საღებრის ფიქსაციის ხარისხი. კვლევისათვის გამოვიყენეთ ნარჩენი აბაზანის კოლორიმეტრიების მეთოდი.

სამღებრო ხსნარებიდან პიგმენტების ამოკრებისა და ბოჭკოზე ფიქსაციის ხარისხი მოცემულია ცხრილში 3.11 და ცხრილში 3.12. როგორც ცხრილებიდან ჩანს, პიგმენტების სამღებრო ხსნარებიდან ამოკრებისა და მათი ბოჭკოზე ფიქსაციის ხარისხები მოდიფიცირებული და არამოდიფიცირებული შალის ბოჭკოებისათვის განსხვავებულია.

სამღებრო ხსნარიდან საღებრის ამოკრების კვლევამ ცხადყო, რომ მოდიფიცირებული ბოჭკოს ლეზვის შემთხვევაში მნიშვნელოვნად იზრდება საღებრის ამოკრების ხარისხი (ცხრილი 3.11), რაც ბოჭკოზე დამატებითი აქტიური ცენტრების წარმოქმნასთან უნდა იყოს დაკავშირებული.

## საღებრის ამოკრების ხარისხი

მოდულიკატორი		A				B			
საღებარი		0%	0,5%	1,0%	2,0%	0%	0,5%	1,0%	2,0%
ენდრო	მჟავა	26,7	33,3	30,0	28,3	4,4	9,4	9,3	6,2
	ნეიტრალური	10,0	18,3	20,0	20,0	6,2	10,3	12,5	12,5
	ტუტე	51,8	53,1	58,1	56,25	0,6	3,1	3,2	3,2
ხახვის ფოთოლი	მჟავა	55,6	62,5	65,0	61,25	72,5	73,1	74,4	76,2
	ნეიტრალური	25,0	31,2	26,2	21,9	29,3	23,0	23,0	12,5
	ტუტე	15,6	18,7	21,9	21,8	0,6	2,5	3,1	1,2
კურკუმა	მჟავა	44,6	46,0	47,1	49,6	43,5	44,6	44,6	46,0
	ნეიტრალური	46,4	48,2	50,0	51,8	46,4	48,2	46,4	46,4
	ტუტე	46,4	48,2	53,2	64,2	50,0	51,8	53,5	53,5
ჰიბისკუსი	მჟავა	18,0	30,0	24,0	22,0	21,3	34,7	27,2	26,5
	ნეიტრალური	16,0	24,0	30,0	22,0	20,0	17,3	25,7	24,5
	ტუტე	11,8	14,8	18,5	17,4	14,6	15,9	18,1	18,2

## საღებრის ფიქსაციის ხარისხი

მოდულიკატორი		A				B			
საღებარი		0%	0,5%	1,0%	2,0%	0%	0,5%	1,0%	2,0%
ენდრო	მჟავა	38,3	45,0	46,7	43,3	40,0	50,0	49,4	46,9
	ნეიტრალური	41,7	41,7	41,7	38,7	43,7	50,0	50,0	46,8
	ტუტე	65,0	68,1	68,7	69,3	28,7	41,25	37,5	31,25
ხახვის ფოთოლი	მჟავა	72,5	73,12	74,4	76,2	76,2	76,6	73,7	73,7
	ნეიტრალური	50,0	53,7	53,2	53,2	61,2	56,2	53,1	43,7
	ტუტე	31,2	34,3	37,5	40,6	12,5	15,6	21,8	25,0
კურკუმა	მჟავა	50,0	50,7	51,7	50,0	64,8	64,9	71,0	67,8
	ნეიტრალური	67,1	67,8	71,4	67,9	49,6	53,5	52,5	51,7
	ტუტე	64,2	67,8	71,4	67,8	57,1	58,9	60,7	64,4
ჰიბისკუსი	მჟავა	32,0	34,0	37,0	36,0	33,8	36,0	38,5	37,0
	ნეიტრალური	34,0	40,0	42,0	40,0	35,3	42,8	45,1	43,2
	ტუტე	34,7	43,7	44,4	35,6	35,9	46,1	47,4	45,7

აღნიშნულ დამატებით აქტიურ ცენტრებზე საღებრები კომპლექსური ბმების მეშვეობით ფიქსირდებიან. საბოლოო ჯამში, ბოჭკოსა და პიგმენტის

მოლეკულებს შორის იონურ, წყალბადურ და ვან-დერ-ვაალსის ძალებთან ერთად, წარმოიქმნება დამატებითი კომპლექსური კოორდინაციული ბმები, რის შედეგადაც პიგმენტები კიდევ უფრო მეტად უკავშირდებიან ბოჭკოს და შედეგად იზრდება საღებართა ფიქსაციის ხარისხი (ცხრილი 3.12). კერძოდ, მოდიფიცირებული შალის მიერ სხვადასხვა პიგმენტების ამოკრების ხარისხი 3-16 %-ით, ხოლო ფიქსაციის ხარისხი 3-15 %-ით უმჯობესდება. ამასთან, საღებრის ამოკრება და ბოჭკოზე ფიქსაცია საუკეთესოა 0,5-1,0 %-იანი მოდიფიკატორით დამუშავებული შალისათვის.

ამრიგად, მოდიფიცირებული შალის ბუნებრივი პიგმენტებით კოლორირების შედეგად ნაჩვენებია, რომ მოდიფიცირებული და არამოდიფიცირებული შალის პიგმენტებით ღებვისას მიღებული შედეგების ფერთა ტონი და ინტენსივობა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ღებვის პირობებზე (pH, დრო, ტემპერატურა):

- მჟავა გარემოში ღებვისას მიღებული შედეგების ნაკლებად ინტენსიურია და ფერთა ტონი გრძელი ტალღის სიგრძეებისკენ არის გადანაცვლებული, ტუტე გარემოში შეღებილი ბოჭკოს შედეგების ინტენსივობა უფრო მაღალია და ფერთა ტონი მოკლე ტალღის სიგრძეებისკენ არის გადანაცვლებული, შედეგების უფრო ღრმა და გაჯერებულია; მოდიფიცირებული შალის ღებვისას შეფერილობის ინტენსივობა 15–19%-ით იზრდება;
- ცივი ღებვის პირობებში შედეგების ინტენსივობის მაქსიმუმზე გასვლის სიჩქარე უფრო მაღალია, ვიდრე მაღალტემპერატურული ღებვისას. ამასთან, ცივი ღებვის შედეგად მიღებული შეფერილობების ინტენსივობა უფრო მაღალია, ვიდრე 85-90°C ტემპერატურაზე ღებვის შედეგად მიღებული შეფერილობის ინტენსივობები;
- მოდიფიცირებული შალის მიერ სხვადასხვა პიგმენტების ამოკრების ხარისხი 3-16 %-ით, ხოლო ფიქსაციის ხარისხი 3-15 %-ით უმჯობესდება. ამასთან, საღებრის ამოკრება და ბოჭკოზე ფიქსაცია საუკეთესოა 0,5-1,0 %-იანი მოდიფიკატორით დამუშავებული შალისათვის.

### 3.3.2. ბუნებრივი საღებრებით კოლორირებული შალის შეღებილობის ხარისხის კვლევა

ბოჭკოზე საღებრის ფიქსაციის ხარისხის ზრდა პრაქტიკულ გამოხატულებას ჰპოვებს შეღებილობის მდგრადობის ამალღებაში სინათლის ზემოქმედების (ცხრილი 3.13) და სველი დამუშავების (საპონ-სოდის ხსნარში რეცხვის) მიმართ (ცხრილი 3.14). ცხრილიდან 3.13 ჩანს, რომ პიგმენტური საღებრებით შეღებილი მოდიფიცირებული შალის შეღებილობის მდგრადობა, სტანდარტულ (დაუმუშავებელ) ნიმუშებთან შედარებით, არ უარესდება, უმრავლეს შემთხვევაში 0,5-1 ბალით უმჯობესდება კიდევ.

განსაკუთრებით საინტერესო და საგულისხმოა მოდიფიცირებული შალის ბუნებრივი პიგმენტებით ღებვისას მიღებული შეღებილობის სინათლის მიმართ მდგრადობის ამალღების ფაქტი. იმდენად, რამდენადაც პიგმენტური საღებრებით მიღებული შეღებილობების ერთ-ერთი ნაკლოვანება მათი დაბალი შუქმდეგობაა. გარდა ამისა, გარკვეულ პირობებში თავად ბოჭკოც განიცდის დესტრუქციას სინათლის ზემოქმედების შედეგად. მოდიფიცირებული შალის ბუნებრივი პიგმენტებით ღებვის შედეგად მიღებული შეღებილობების შუქმდეგობის გაუმჯობესება გვაფიქრებინებს, რომ ბორის ნაწარმები, გარკვეულწილად, შუქსტაბილიზატორად გვევლინება. ცნობილია, რომ საფეიქრო მასალათა შუქსტაბილიზაცია შესაძლოა განხორციელდეს ე.წ. პროფილაქტიკური მეთოდით, როდესაც სპეციალური პრეპარატების (უი-აბსორბერების) მეშვეობით ხდება დასხივების წყაროს სპექტრში განსაკუთრებული ფოტოაქტივობის მქონე ნაწილის ეკრანირება. შუქსტაბილიზაციის „სამკურნალო“ მეთოდები კი საღებრების მოლეკულების და პოლიმერების აღზნებული ფუნქციონალური ჯგუფების ჩაქრობას და დესტრუქციული ხასიათის ფოტოქიმიური რეაქციების ინჰიბირებას ეფუძნება [91]. უნდა ვივარაუდოთ, რომ ისევე, როგორც ბუნებრივი პიგმენტების შემთხვევაში, ბოჭკოსთან ურთიერთქმედების დროსაც, ბოჭკოს ზედაპირზე წარმოქმნილი ბორის შემცველი აქტიური ცენტრი ფოტოქიმიური დესტრუქციის

პროცესის შენელებას უწყობს ხელს, სპექტრალური გამოსხივების აქტიური ნაწილის ეკრანირებას ახდენს, აქტივაციის ენერჯის შემცირებას იწვევს და პოლიპეპტიდურ ბმას იცავს დაშლისაგან.

შევისწავლეთ შეღებილობის სინათლის მიმართ მდგრადობა ბუნებრივ პირობებში. როგორც მოველოდით, მოდიფიცირებული შალის შეღებილობები სინათლის მიმართ მდგრადობის უკეთესი მახასიათებლებით ხასიათდება და მდგრადობა 0,5-1 ბალით უმჯობესდება (ცხრილი 3.13).

ცხრილი 3.13

**შეღებილობის მდგრადობა სინათლის ზემოქმედების მიმართ**

მოდიფიკატორი		A				B			
საღებარი		0%	0,5%	1,0%	2,0%	0%	0,5%	1,0%	2,0%
ენდრო	მჟავა	4-5	5	5	5	4-5	5	5	5
	ნეიტრალური	4-5	5	5	5	4-5	5	5	5
	ტუტე	4-5	5	5	5	4-5	5	5	5
ხახვის ფოთოლი	მჟავა	5	4-5	4-5	4-5	5	4-5	4-5	4-5
	ნეიტრალური	5	4-5	4-5	4-5	5	4-5	4-5	4-5
	ტუტე	5	4-5	4-5	4-5	5	4-5	4-5	4-5
კურკუმა	მჟავა	5	4-5	4-5	4-5	5	4-5	4-5	4-5
	ნეიტრალური	5	4-5	4-5	4-5	5	4-5	4-5	4-5
	ტუტე	5	4-5	4-5	4-5	5	4-5	4-5	4-5
ჰიბისკუსი	მჟავა	3	3-4	3-4	3-4	3	3-4	3-4	3-4
	ნეიტრალური	3	3-4	3-4	3-4	3	3-4	3-4	3-4
	ტუტე	3	3-4	3-4	3-4	3	3-4	3-4	3-4

სველი დამუშავების (საპონ-სოდიან ხსნარში რეცხვა) მიმართ შეღებილი ნიმუშების მდგრადობის შესწავლამ აჩვენა, რომ გამოყენებული პიგმენტისათვის მოდიფიცირებული შალის ბუნებრივი პიგმენტებით ღებვის შედეგად მიღებული შეღებილობები სტანდარტული ნიმუშის შეღებილობის მდგრადობის ანალოგიური, რამდენიმე შემთხვევაში კი - გაუმჯობესებულია (ცხრილი 3.14).

**სველი დამუშავების მიმართ შეღებილობების მდგრადობის  
მაჩვენებლები**

მოდIFIკატორი		A				B			
საღებარი		0%	0,5%	1,0%	2,0%	0%	0,5%	1,0%	2,0%
ენდრო	მჟავა	2/3/3	2/3/3	3/4/4	3/4/4	2/3/3	2/3/3	3/4/4	3/4/4
	ნეიტრალური	2/3/3	2/3/3	3/4/4	3/4/4	2/3/3	2/3/3	3/4/4	3/4/4
	ტუბე	2/3/3	2/3/3	3/4/4	3/4/4	2/3/3	2/3/3	3/4/4	3/4/4
ხახვის ფოთოლი	მჟავა	3/3-4/4	4/4/4	4/4/4	4/4/4	3/3-4/4	4/4/4	4/4/4	4/4/4
	ნეიტრალური	3/3-4/4	4/4/4	4/4/4	4/4/4	3/3-4/4	4/4/4	4/4/4	4/4/4
	ტუბე	3/3-4/4	4/4/4	4/4/4	4/4/4	3/3-4/4	4/4/4	4/4/4	4/4/4
კურკუმა	მჟავა	3/3/3	4/3-4/4	4/4/4	4/3-4/4	3/3/3	4/3-4/4	4/4/4	4/3-4/4
	ნეიტრალური	3/3/3	4/3-4/4	4/4/4	4/3-4/4	3/3/3	4/3-4/4	4/4/4	4/3-4/4
	ტუბე	3/3/3	4/3-4/4	4/4/4	4/3-4/4	3/3/3	4/3-4/4	4/4/4	4/3-4/4
ჰიბისკუსი	მჟავა	3-4/4/4	4/4/4	4/4/4	4/4/4	3-4/4/4	4/4/4	4/4/4	4/4/4
	ნეიტრალური	3-4/4/4	4/4/4	4/4/4	4/4/4	3-4/4/4	4/4/4	4/4/4	4/4/4
	ტუბე	3-4/4/4	4/4/4	4/4/4	4/4/4	3-4/4/4	4/4/4	4/4/4	4/4/4

ამრიგად, მოდიფიცირებული და არამოდიფიცირებული შალის ბუნებრივი პიგმენტებით ღებვისას მიღებული შეღებილობის ხარისხის კვლევამ აჩვენა, რომ მოდიფიცირებული შალის შეღებილობები სინათლისა და სველი დამუშავების (საპონ-სოდიან ხსნარში რეცხვა) მიმართ მდგრადობის უკეთესი მახასიათებლებით ხასიათდება და მდგრადობა 0,5-1 ბალით უმჯობესდება.

### 3.3.3. კოლორირებული შალის თელვის კვლევა

შალის ბოჭკოს ნებისმიერი დამუშავება (რეცხვა, გამოთეთრება, კოლორირებისთვის მომზადება, სპეციფიკური თვისებების მინიჭება, კოლორირება), როგორც ცნობილია, თელვის უნარის კლებას იწვევს, რადგანაც ბოჭკოს

ზედაპირული სტრუქტურის ცვლილებას უკავშირდება. წარმოდგენილი სამუშაოს ფარგლებში საინტერესოდ ჩავთვალეთ შეღებილი შალის თელვის პროცესზე მოდიფიკატორებში დამუშავების ზეგავლენის კვლევა.

კვლევისთვის შევირჩიეთ სინთეზური საღებრებით ქარხნულად შეღებილი მერინოსის შალის ფთილა, ვინაიდან ჩვენს მიერ ლაბორატორიულ პირობებში ბუნებრივი საღებრებით ღებვის შემდეგ, პრაქტიკულად, შეუძლებელია თანაბარი სიმჭიდროვის, ერთგვაროვანი, პარალელურად განლაგებული და ვარცხნილი ლენტის ფორმირება. იმავე მიზეზით მოდიფიკატორებით დამუშავება ვაწარმოეთ უშუალოდ თელვის პროცესში. თელვის ხარისხის შეფასება მოვახდინეთ თექის სიმჭიდროვის მაჩვენებლის მიხედვით.

მოდიფიკატორში A თელვის პროცესში დამუშავებული შეღებილი შალისაგან დამზადებული თექის სიმჭიდროვის მაჩვენებლები მოცემულია ცხრილში 3.15, მოდიფიკატორში B თელვის პროცესში დამუშავებული შეღებილი შალისაგან დამზადებული თექის სიმჭიდროვის მაჩვენებლები - ცხრილში 3.16.

ცხრილიდან 3.15 და ცხრილიდან 3.16 ჩანს, რომ თელვის უნარზე მოდიფიკატორებში დამუშავების ზეგავლენა ისეთივე კანონზომიერებით ხასიათდება, როგორც შეუღებავი შალის თელვისას.

ცხრილი 3.15

**მოდიფიკატორში A თელვის პროცესში დამუშავებული შეღებილი შალისაგან დამზადებული თექის სიმჭიდროვის მაჩვენებელი**

საწყისი ნიმუშის სიმჭიდროვე, გრ /სმ <sup>3</sup>	თელვის ინტენსივობა, (ციკლი)	სიმჭიდროვე, გრ /სმ <sup>3</sup>		
		მოდიფიკატორის კონცენტრაცია, %		
		0	0,5	1,0
5,1	წალმა მხარე 800 ციკლი	32,85	42,86	60,48
	უკანა მხარე 800 ციკლი	44,55	67,24	73,42
	წალმა მხარე 200 ციკლი	68,32	82,75	90,65
	უკანა მხარე 200 ციკლი	75,15	86,44	96,35



**მოდIFIკატორში B თელვის პროცესში დამუშავებული შეღებილი  
შალისაგან დამზადებული თექის სიმჭიდროვის მაჩვენებელი**

საწყისი ნიმუშის სიმჭიდროვე, გრ /სმ <sup>3</sup>	თელვის ინტენსივობა, (ციკლი)	სიმჭიდროვე, გრ /სმ <sup>3</sup>		
		მოდIFIკატორის კონცენტრაცია, %		
		0	0,5	1,0
5,0	წალმა მხარე 800 ციკლი	42,85	60,55	69,35
	უკანა მხარე 800 ციკლი	64,55	90,82	93,52
	წალმა მხარე 200 ციკლი	78,32	102,85	106,78
	უკანა მხარე 200 ციკლი	86,56	105,15	108,35

კერძოდ, თელვის პროცესში შეღებილი შალის სხვადასხვა კონცენტრაციის მოდიფიკატორებში დამუშავებისას თექის სიმჭიდროვის მაჩვენებლები უფრო მაღალია, ვიდრე დაუმუშავებელი შალისაგან დამზადებული თექისა. ეს იმას ნიშნავს, რომ შეღებილი შალის გამოყენების დროსაც მოდიფიკატორებში დამუშავება თელვის უნარის გაუმჯობესებას იწვევს. უნდა ვიფიქროთ, რომ შეღებილი შალის გამოყენების შემთხვევაში მოდიფიკატორები - ბორის შემცველი ნაერთები ურთიერთქმედებაში შედიან არა მხოლოდ ბოჭკოვანი პოლიმერის, არამედ საღებრის ფუნქციონალურ ჯგუფებთანაც. შედეგად მიიღება თელვის ხელშემწყობი ეფექტი - ბოჭკოს დრეკად-დეფორმაციული თვისებების ისეთი ცვლილება (ელასტიურობისა და პლასტიკურობის ამაღლება), როგორც შეუღებავი შალის გამოყენებისას.

### 3.4. მოდიფიცირებული შალის ბიოლოგიური დესტრუქციისადმი მდგრადობის კვლევა

შალის ბოჭკოს ერთ-ერთი სახის ცვეთას განეკუთვნება საფეიქრო ნაკეთობების დაშლა სხვადასხვა მიკროორგანიზმების ზემოქმედების შედეგად და დაზიანება ჩრჩილის მიერ.

მიკროორგანიზმებით ბოჭკოს დაშლა არახელსაყრელ პირობებში შენახვის, ტრანსპორტირების ან სველ მდგომარეობაში გამოყენებისას ხდება. თუმცა, ბოჭკოვანი ნაწარმი მხოლოდ იმ შემთხვევაში იშლება და ზიანდება, როცა მისი შემადგენელი ნივთიერება მიკროორგანიზმებისათვის საკვებ გარემოს წარმოადგენს. მიკროორგანიზმების მიერ ბოჭკოს დაზიანება არა მარტო ნაწარმის სიმტკიცის შემცირებას, არამედ მისი შეფერილობისა და ბრწყინვალეობის შეცვლასაც იწვევს, რაც საბოლოო ჯამში, ნაწარმის გარეგნულ სახეს აუარესებს [81].

საფეიქრო მასალებზე მუდმივად არსებობს სხვადასხვა სახის ბაქტერიები, საფუარი და სხვა სახის სოკოები. მასალაზე მიკროორგანიზმები ჰაერიდან ან წყლიდან ხვდება. ტენიანი გარემოს არსებობა, ხელსაყრელი ტემპერატურა და ანტისეპტიკების არარსებობა ხელს უწყობს საფეიქრო ნაწარმზე ბაქტერიებისა და სოკოების განვითარებას. სხვადასხვა მიკროორგანიზმების ზემოქმედების მიმართ მგრძობელობის თვალსაზრისით შალის ბოჭკო ხასიათდება როგორც ზომიერად მგრძობიარე.

შალის ნაწარმის ადგილობრივი ცვეთის ძირითადი მიზეზი ჩრჩილით დაზიანებაა. ჩრჩილის ჭუპრები, რომლებიც პეპლის მიერ დადებული კვერცხებიდან ვითარდებიან, შალის კერატინით იკვებებიან, ამიტომ შლიან და ანადგურებენ მას. ჩრჩილისაგან ნაწარმის დასაცავად სახლის პირობებში ნაფტალინი გამოიყენება, რომლის სუნიც აფრთხობს პეპლებს, მაგრამ ვერ კლავს კუპრს და კვერცხებს. ნაფტალინის მეორე უარყოფითი თვისებაა, მისი სწრაფი აორთქლება.

ანტიმიკრობული ზემოქმედებით ხასიათდება ფტორის შემცველი ნაერთები (ნატრიუმის ფტორიდი, ნატრიუმის ფტორსილიკატი). აღნიშნული მიზნებით შესაძლებელია საყოფაცხოვრებო ქიმიკატში აპრობირებული მადენზიფიცირებადი

აეროზოლის გამოყენებაც. საგულისხმოა, რომ ორივე ნივთიერება ეკოლოგიურად არც თუ უსაფრთხო ნივთიერებებს განეკუთვნება. ამდენად, მათი გამოყენება გარკვეულ სიფრთხილეს მოითხოვს. ცილოვანი ბოჭკოების, მათ შორის შალის ნაწარმის, ანტიმიკრობული დამუშავებისას ეკოლოგიურად უსაფრთხო, ადამიანსა და გარემოზე „რბილი“ ზემოქმედების მქონე ტექნოლოგიების შემუშავების მიზნით კვლევები აქტიურად მიმდინარეობს. ამ მხრივ გამოირჩევა ენზიმური ტექნოლოგიების გამოყენების მიზნით წარმოებული სამუშაოები [92-93].

საგულისხმო შედეგები მივიღეთ მოდიფიკატორში A და B დამუშავებული შალის ანტიმიკრობული თვისებებისა და ბიოდესტრუქციის მიმართ მდგრადობის შესწავლისას. ბოჭკოს დაზიანებების შეფასება განხორციელდა ვიზუალური დათვალიერებისას და შეფასდა 5 ბალიანი სისტემით [74].

ერთი თვის განმავლობაში ტენიან გარემოში მოთავსებული მოდიფიცირებული და არამოდიფიცირებული შალის ბოჭკოს ზედაპირის შეფასებისას აღმოჩნდა, რომ მოდიფიკატორში A დამუშავებული ბოჭკო, პრაქტიკულად, დაზიანების გარეშე, უცვლელი სახით იქნა შენარჩუნებული. მისი მდგრადობა მიკროორგანიზმების ზემოქმედების მიმართ შეიძლება მაქსიმალურად შეფასდეს - 5 ბალით. დაუმუშავებელი და მოდიფიკატორში B დამუშავებული შალის ბოჭკო კი - ნაწილობრივ დაზიანდა და მათი მდგრადობა 2-3 ბალის ფარგლებშია.

რაც შეეხება ჩრჩილის მიმართ მოდიფიცირებული შალის მდგრადობის შესწავლას, შესაძლებელია ითქვას, რომ მოდიფიცირების პოზიტიური შედეგი მნიშვნელოვანია. კვლევისათვის მოდიფიცირებული ბოჭკოები ბუნებრივ პირობებში ერთი წლის განმავლობაში შევინახეთ დაზიანებულ ბოჭკოებთან ერთად. როგორც მოსალოდნელი იყო, დაუმუშავებელი შალი მნიშვნელოვნად დაზიანდა ჩრჩილის მიერ, მოდიფიკატორებში A და B დამუშავებული შალი კი - ჩრჩილის მიერ დაზიანების მიმართ მდგრადობით გამოირჩევა და მაქსიმალური 5 ბალით შეიძლება შეფასდეს.

მიღებული შედეგი მნიშვნელოვანია იმ თვალსაზრისითაც, რომ მოდიფიკატორებში დამუშავება როგორც ბოჭკოზე, ასევე გარემოზეც (ადამიანსა და ბუნებაზე) „რბილი“ ზემოქმედებით გამოირჩევა და უსაფრთხოა.

ამრიგად, მოდიფიცირებული შალის ბიოლოგიური დესტრუქციისადმი მდგრადობის კვლევამ აჩვენა, რომ მოდიფიცირებული შალი ბიოლოგიური დესტრუქციისადმი გაუმჯობესებული მახასიათებლებით გამოირჩევა:

- მოდიფიკატორში A დამუშავებული შალის მდგრადობა მიკროორგანიზმების ზემოქმედების მიმართ შეიძლება შეფასდეს მაქსიმალური 5 ბალით; დაუმუშავებელი და მოდიფიკატორში B დამუშავებული შალის ბოჭკო კი - ნაწილობრივ ზიანდება მიკროორგანიზმების მიერ და მათი მდგრადობა 2-3 ბალის ფარგლებშია;
- მოდიფიკატორებში დამუშავებული შალი ჩრჩილის მიერ დაზიანების მიმართ კარგი მდგრადობით გამოირჩევა და დაუზიანებლად ინარჩუნებს სტრუქტურას ბუნებრივ პირობებში შენახვისას.

### 3.5. მოდიფიცირებული შალის გამოყენებისა და ღებვის ეკოლოგიური უსაფრთხოების საკითხები

გარემოს დაცვისა და ეკოლოგიური უსაფრთხოების უზრუნველყოფის ამოცანები ახალ ათასწლეულში მთელი სერიოზულობით დგას მრეწველობის და მათ შორის საფეიქრო მრეწველობის წინაშე. აღსანიშნავია, რომ ქიმიური ნივთიერებების გამოყენებაზე უარის თქმა საფეიქრო მრეწველობაში პრაქტიკულად შეუძლებელია, მაგრამ მკაცრად დგას საკითხი მათი ეკონომიურად გამოყენების, ჩაკეტილი ტექნოლოგიური ციკლების შექმნის, თბური ენერჯის უტილიზაციის, ჩამდინარე წყლისა და ჰაერის დაბინძურების შემცირების მოთხოვნით [94-97].

შალის გამომყვან წარმოებაში ყოველ 1 ტ. ბოჭკოვან ნაწარმზე ჩამდინარე წყლის რაოდენობა 300 მ<sup>3</sup>-ია. ჩამდინარე წყლის შემადგენლობაში, ზოგადად შემდეგი სახის მინარევები გვხვდება:

მგ/ლ

შემზეთავები, ფერადი პიგმენტები და შლიხტა - - -120

არაორგანული რეაგენტები	-----	450
საღებრები	-----	18-22
სხვა ორგანული რეაგენტები	-----	130

ჩვენს მიერ შემუშავებულია ბორის შემცველი ნაერთებით შალის ბოჭკოს მოდიფიცირების მეთოდი. საგულისხმოა, რომ მოდიფიცირებული შალის ბუნებრივი პიგმენტებით შემდგომი ღებვისას ტექნოლოგიური პროცესის ეკოლოგიური უსაფრთხოება მნიშვნელოვნად იზრდება. კერძოდ, ჩვენს მიერ შეთავაზებულ ღებვის რეცეპტურაში აღარ გვაქვს მძიმე მეტალის მარილები, რომლებსაც ტრადიციული ტექნოლოგიებით ღებვისას ფერმჭერებად იყენებენ. თავისუფალი მძიმე მეტალები კი - ჟანგვითი რეაქციების კატალიზატორებად გვევლინებიან და აჩქარებენ ორგანიზმის დაბერების პროცესს; ხელს უწყობენ დეგენერატიული პროცესების წარმართვას, რაც სხვადასხვა დაავადების მიზეზი ხდება; შესაძლოა გამოიწვიოს დნმ-ის დაზიანება და გენეტიკური კოდის მუტაცია [98-99].

საგულისხმოა, რომ მოდიფიცირებული ბოჭკოების ღებვისას საღებრის ამოკრების ხარისხის 3-16%-ით უმჯობესდება, ასევე 3-15%-ით იზრდება ფიქსაციის ხარისხი. შედეგად ჩამდინარე წყლებში საღებრის რაოდენობა 5-30%-ით მცირდება.

თავად ბორის ნაერთებით მოდიფიცირებული შალის ეკოლოგიური უსაფრთხოების შეფასებისას შეიძლება აღინიშნოს, რომ ტექნოლოგიური პროცესების მიმდინარეობისას ბორის ნაერთების ჩამდინარე წყლებში მოხვედრა, შესაძლოა სრულად გამოირიცხოს, ვინაიდან შალის ბოჭკოს ბორის ნაერთებში დამუშავება პერიოდული ხერხით ხდება და ხსნარის კონცენტრაციის რეგულირებით მისი ხელახალი გამოყენება შესაძლებელია ხანგრძლივი დროის განმავლობაში. ბორის ნაერთები ანტისეპტიკურ ნივთიერებებს წარმოადგენენ და ისინი თავად იცავენ ხსნარს დაძველებისაგან და უნარჩუნებენ მას სამომხმარებლო თვისებებს. რაც შეეხება ბოჭკოებზე გადასული ბორის ადამიანის ჯანმრთელობაზე ზემოქმედებას, საგულისხმოა, რომ მცირე დოზებით ( $10^{-3}$ - $10^{-2}$ მგ) ბორი ცხოველებისა და მცენარეებისათვის საჭიროა, ბორაქსი 5-10 კგ/ჰა-ზე სასუქის სახით შეაქვთ ნიადაგში. თუ გავითვალისწინებთ, რომ შალის ნაწარმის დამუშავება ბორის შემცველი მცირე კონცენტრაციის (0,5-2,0%) ხსნარებში ხდება და 100%-იანი გაწურვისას თავად

ქსოვილებზე ხსნარის 1/50 ნაწილი გადავა. ეს იმას ნიშნავს, რომ ბოჭკოზე ბორის რაოდენობა მისი წონის 0,01 % იქნება.

კანზე ბორის ნაერთების გარეგანი ზემოქმედება სრულიად უსაფრთხოა. რაც შეეხება სისხლში მოხვედრის შესაძლებლობას, - ბორის ნაერთების 1%-იანი ხსნარის გამოყენებისას, 1 სმ<sup>2</sup> მასალაზე ქიმიურად დაკავშირებული იქნება  $\approx 10$  მგ ბორის შემცველი ნივთიერება, ხოლო თავად ბორი იქნება  $\approx 1$  მგ. თუ გავითვალისწინებთ, რომ ბორის აუცილებელი სადღეღამისო რაოდენობა 0,2-4 მგ-ია, თამამად შეგვიძლია ვთქვათ, რომ სისხლში მოხვედრის შემთხვევაშიც კი - იგი უსაფრთხო იქნება ადამიანისათვის [100].

როგორც ზემოთ აღინიშნა, ღებვის რეცეპტურიდან ამოღებულია ფერმჭერები (მძიმე მეტალის მარილები). ამდენად, როგორც ადამიანზე, ასევე გარემოზე ზემოქმედების თვალსაზრისით, შეღებილი მასალა უსაფრთხოა.

ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების რაოდენობა ღებვის რეცეპტურაში უცვლელია, მაგრამ მათი მოცილება შესაძლებელია ტრადიციული ხერხით – ფლოტაციით. ამასთან, მოდიფიცირებული შალის ნაწარმის ღებვისა და რეცხვის შემდეგ წარმატებით შეიძლება ჩამდინარე წყლების გასუფთავების ტრადიციული ხერხების გამოყენება, როგორცაა მექანიკური, ქიმიური (ნეიტრალიზაცია, კოაგულაცია, ფლოკულირება, დაჟანგვა და აღდგენა), ფიზიკურ-ქიმიური (ფლოტაცია, ადსორბცია, იონური გაცვლა, ექსტრაქცია, აორთქლება, დისტილირება, ულტრაფილტრაცია, ელექტროდიალიზი), ბიოქიმიური და გასუფთავებული წყლის ხელახლა ტექნოლოგიურ ციკლში გამოყენება, რაც პრაქტიკულ სიძნელეს არ წარმოადგენს.

ამრიგად, მოდიფიცირებული შალის თელვისა და ბუნებრივი პიგმენტებით ღებვის ეკოლოგიური უსაფრთხოების კვლევის შედეგების საფუძველზე შეგვიძლია აღვნიშნოთ, რომ

- მოდიფიცირებული შალის ნაწარმის მოხმარება ეკოლოგიურად უსაფრთხოა. მასზე ბორის შემცველი ნაერთების რაოდენობა ადამიანისათვის აუცილებელ დღიურ ნორმას არ აღემატება;
- მოდიფიცირებული შალის ნაწარმის ბუნებრივი პიგმენტებით ღებვის შემდეგ

ჩამდინარე წყლებში საღებრის რაოდენობა 5-30%-ით მცირდება, მასში აღარ არის მძიმე მეტალის მარილები;

- მოდიფიცირებული შალის ღებვის და რეცხვის შემდეგ ნარჩენი სამღებრო აბაზანისა და ჩამდინარე წყლების ხელახლა ტექნოლოგიურ ციკლში გამოყენება პრაქტიკულ სიძნელეს არ წარმოადგენს.

### **3.6. მოდიფიცირებული შალისგან თექის დამზადების ეკონომიკური მიზანშეწონილობის შეფასება**

ტექსტილის წარმოებისათვის ახალი მასალების, ტექნოლოგიების, ხერხებისა და მეთოდების შემუშავებისას მნიშვნელოვანია სიახლის ეკონომიკური მიზანშეწონილობის შეფასება. ზოგადად, ტექნოლოგიური პროცესების სრულყოფისა და გაუმჯობესების მიზნით განხორციელებული მეცნიერული კვლევები რიგი ეკონომიკური ამოცანების გადაჭრას გულისხმობს. ტექსტილის სიახლეების ეკონომიკური ამოცანების გადაჭრა მიზნად ისახავს:

- ტექნოლოგიური ციკლის დროის შემცირებას;
- ენერჯის, ბოჭკოვანი მასალების, საღებრებისა და დამხმარე საფეიქრო მასალების ეკონომიას;
- ოპერაციების განმეორების რისკის შემცირებას და სახარშ-სამღებრო ხსნარების მრავალჯერად გამოყენებას;
- ტექნოლოგიების მოქნილობასა და მობილურობას;
- მომხმარებლის მოთხოვნილების მაქსიმალურად დაკმაყოფილებას.

მოდიფიცირებული შალისგან თექის დამზადების ახალი მეთოდი ზემოთ ჩამოთვლილ, პრაქტიკულად, ყველა ამოცანას პასუხობს:

- კვლევებმა აჩვენა, რომ თელვამდე მოდიფიცირებული შალის გამოყენებისას შესაძლებელია თელვის ინტენსივობის 400-800 ციკლით შემცირება, რაც დროისა და ძალისხმევის ეკონომიას გულისხმობს;

- მოდიფიცირებული შალის ბუნებრივი პიგმენტებით ლეზვისას სასურველი ინტენსივობის შეღებილობის მიღება საღებრის 10-15 %-ით ეკონომიის პირობებშია შესაძლებელი;
- მოდიფიკატორებისა და ბუნებრივი პიგმენტების ხსნარების მრავალჯერადი გამოყენება ტექნოლოგიურ სირთულეს არ წარმოადგენს;
- შალის მოდიფიკატორებში დამუშავების ტექნოლოგია მარტივი და მობილურია და მისი განხორციელება შესაძლებელია როგორც წარმოების პირობებში, ასევე კუსტარულად;
- თექის დამზადებისას მოდიფიცირებული შალის გამოყენება ნაწარმის სამომხმარებლო თვისებების გაუმჯობესებას უზრუნველყოფს.

ზოგადად ცნობილია, რომ მეცნიერულ-ტექნიკური სიახლის დანერგვით მიღებული ეკონომიკური ეფექტი იანგარიშება ფორმულით [101]:

$$E = [(C_1 + D_H K_1) - (C_2 + D_H K_2)] \cdot A, \text{ სადაც}$$

$C_1$  და  $C_2$  - პროდუქციის თვითღირებულებაა მეცნიერული სიახლის დანერგვამდე და დანერგვის შემდეგ,

$$D_H - \text{დისკონტის კოეფიციენტი } (0,15-0,2),$$

$$K_1 \text{ და } K_2 - \text{კაპიტალდაბანდებები,}$$

$$A - \text{წარმოების წლიური მოცულობა.}$$

მოდიფიცირებული შალის გამოყენებით თექის დამზადება ახალ კაპიტალდაბანდებებს არ საჭიროებს. შალის ბორის ნაერთებში დამუშავება და ღებვა პერიოდული ხერხით ლეზვისათვის არსებულ მოწყობილობაზე შეიძლება განხორციელდეს. შეუღებავი შალისთვის პროდუქციის თვითღირებულებაში ცვლილება ანტიმიკრობული და ანტიბაქტერიული პრეპარატების ხარჯვის ნორმებს უკავშირდება, შეღებილი შალისთვის კი - საღებრებისა და დამხმარე საფეიქრო მასალების (სამღებრო ხსნარში შემავალი ნივთიერებების) ხარჯვის ნორმებს. ამდენად, ეკონომიურ ეფექტს და ჩატარებული სამუშაოს ეკონომიკურ მიზანშეწონილობასაც, სწორედ, აღნიშნული პუნქტების ცვლილება განაპირობებს.



1 კგ შეუღებავი შალის ანტიმიკრობული დამუშავების დანახარჯები, კომპონენტების საბაზრო ფასების გათვალისწინებით, მოცემულია ცხრილში 3.17.1 და ცხრილში 3.17.2.

**ცხრილი 3.17.1**

**1კგ შეუღებავი შალის ანტიმიკრობული დამუშავების დანახარჯები**

ქიმიკატების დასახელება	ერთეულის ფასი, ლარი	რეცეპტურა არამოდიფიცირებული შალისთვის		რეცეპტურა მოდიფიცირებული შალისთვის	
		რაოდენობა, კგ	ფასი, ლარი	რაოდენობა, კგ	ფასი, თეთრი
მოდიფიკატორი A	2,5	-	-	0,01	2,5
მოდიფიკატორი B	2,75			0,01	2,75
ნაფტალინი	2,2	0,01	2,2	-	-
სულ		2,2		2,5 / 2,75 თეთრი	
ეკონომიური ეფექტი მოდიფიკატორისათვის A		გაძვირება 0,3 თეთრით			
ეკონომიური ეფექტი მოდიფიკატორისათვის B		გაიაფება 0,05 თეთრით			

**ცხრილი 3.17. 2**

**1 კგ შეუღებავი შალის ანტიმიკრობული დამუშავების დანახარჯები**

ქიმიკატების დასახელება	ერთეულის ფასი, ლარი	რეცეპტურა არამოდიფიცირებული შალისთვის		რეცეპტურა მოდიფიცირებული შალისთვის	
		რაოდენობა, კგ	ფასი, ლარი	რაოდენობა, კგ	ფასი, თეთრი
მოდიფიკატორი A	2,5	-	-	0,01	2,5
მოდიფიკატორი B	2,75			0,01	2,75
ფტორიდები	3,6	0,01	3,6	-	-
სულ		3,6 თეთრი		2,5 / 2,75 თეთრი	
ეკონომიური ეფექტი მოდიფიკატორისათვის A		გაიაფება 1,1 თეთრით			
ეკონომიური ეფექტი მოდიფიკატორისათვის B		გაიაფება 0,85 თეთრით			

ცხრილიდან 3.17 ჩანს, რომ თუ შალის ბიოდესტრუქციისაგან დასაცავად სტანდარტული დამუშავებისას ნაფტალინი გამოიყენება, მოდიფიკატორისათვის A 1 კგ შალის დამუშავება 0,3 თეთრით ძვირდება, ხოლო მოდიფიკატორისათვის B - იაფდება 0,05 თეთრით. ფტორიდების გამოყენების შემთხვევაში კი - მოდიფიკატორისათვის A 1 კგ შალის დამუშავება 1,1 თეთრით იაფდება, მოდიფიკატორისათვის B - 0,85 თეთრით. როგორც ვხედავთ, ეკონომიკური

ეფექტურობა განსაკუთრებულად მაღალი არ არის, მაგრამ თუ გავითვალისწინებთ, რომ მოდიფიკატორების გამოყენება ეკოლოგიურად უფრო უსაფრთხოა და თექის ხარისხიც უკეთესი, შეიძლება ითქვას, რომ მოდიფიკატორების გამოყენება ეკონომიკური თვალსაზრისითაც მიზანშეწონილია.

1 კვ შალის ღებვისათვის ძირითადი დანახარჯები მოცემულია ცხრილში 3.18.

ცხრილი 3.18

**1 კვ. შალის ღებვისთვის საჭირო რეცეპტურის ღირებულება**

ქიმიკატების დასახელება	ერთეულის ფასი, ლარი	რეცეპტურა არამოდიფიცირებული შალისთვის		რეცეპტურა მოდიფიცირებული შალისთვის	
		რაოდენობა, კგ	ფასი, თეთრი	რაოდენობა, კგ	ფასი, თეთრი
მოდიფიკატორი A	2,5	-	-	0,015	3,75
მოდიფიკატორი B	17,5			0,015	26,25
ფერმჭერები	6	0,02	12	-	-
პიგმენტი	150 - 250	0,02	312 - 512	0,018	270 - 450
სულ	300-500 თეთრი			273,75 - 453,75 თეთრი 296,25 - 476,25 თეთრი	
ეკონომიური ეფექტი მოდიფიკატორისათვის A	გაიაფება 38,25 - 58,25 თეთრით				
ეკონომიური ეფექტი მოდიფიკატორისათვის B	გაიაფება 12,75 - 35,75 თეთრით				

როგორც ცხრილიდან 3.18 ჩანს, მოდიფიცირებული შალის ღებვა მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტს იძლევა. მოდიფიკატორში A დამუშავებული 1 კვ შალის ღებვის რეცეპტურა სხვადასხვა პიგმენტებისათვის 38,25 - 58,25 თეთრით იაფდება, მოდიფიკატორში B დამუშავებული 1 კვ შალისთვის - 12,75 - 35,75 თეთრით. პიგმენტებით ღებვის რეცეპტურის გაიაფება გამოწვეულია იმ გარემოებით, რომ ღებვისას აღარ არის საჭირო ფერმჭერების გამოყენება.

მოდიფიკატორში დამუშავებული შალის ღებვის ეკონომიკურ მიზანშეწონილობას ამყარებს შედეგილობის ხარისხის გაუმჯობესებული კოლორისტული და სამომხმარებლო მაჩვენებლებიც. კერძოდ, მოდიფიკატორში დამუშავებული ნიმუშები გამოირჩევიან სინათლისა და სველი დამუშავების მიმართ გაუმჯობესებული მდგრადობით. ამასთან, შედეგილობის ინტენსივობაც უფრო მაღალია.

## დასკვნები და ძირითადი მეცნიერული მიღწევები

სადისერტაციო სამუშაოს ფარგლებში განხორციელებული კვლევების საფუძველზე მიღებულია ახალი სისტემური ცოდნა ბორის ნაერთებით მოდიფიცირებული შალის ბოჭკოს თვისებების ცვლილების, მისი გამოვლინებისა და პრაქტიკაში გამოყენების შესაძლებლობების შესახებ.

პირველად არის შესწავლილი:

- ბორის ნაერთებით შალის მოდიფიცირების ზეგავლენა ბოჭკოს სტრუქტურულ, ფიზიკურ - მექანიკურ და დრეკად-დეფორმაციულ თვისებებზე;
- შალის მოდიფიცირების ზეგავლენა თელვის პროცესსა და ხარისხზე;
- შალის მოდიფიცირების ზეგავლენა ბუნებრივი პიგმენტებით კოლორირების პროცესსა და მიღებული შედეგილობების ხარისხზე;
- მათემატიკური მოდელირების მეთოდის გამოყენებით პირველად არის დადგენილი შალის ბორის ნაერთებით მოდიფიცირებისა და თელვის რაციონალური პარამეტრები, რაც უზრუნველყოფს მაღალი ხარისხის თექის ნაწარმის მიღებას.

თელვის პროცესის კვლევამ ცხადჰყო, რომ შალის მოდიფიცირება მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს თელვის პროცესზე. ამასთან, თელვის პროცესში მოდიფიცირება უფრო ეფექტურია და მიღებული თექა გაუმჯობესებული ხარისხის მაჩვენებლებით ხასიათდება. ეს შესაძლოა გამოწვეული იყოს იმით, რომ თელვის პროცესში მოდიფიცირებისას ფიზიკური ზემოქმედების შედეგად მოდიფიკატორი უფრო იოლად და ღრმად აღწევს ბოჭკოს სტრუქტურაში. ვფიქრობთ, ამ დროს იცვლება ბოჭკოს ფიზიკურ-მექანიკური და დრეკად-დეფორმაციული თვისებები. კერძოდ, იზრდება ბოჭკოს პლასტიკური თვისებები, რაც შალის ბოჭკოს პოლიმერული ჯაჭვების ურთიერთზემოქმედების ფართობისა და თელვის პროცესში ხახუნის ძალის ზრდას იწვევს. ეს ფაქტორები კი მნიშვნელოვნად განსაზღვრავენ თელვის პროცესის მიმდინარეობას. ამდენად, მათი გაუმჯობესება ლოგიკურად იწვევს თელვის ხარისხის გაუმჯობესებას. მოსაზრება დადასტურებულ იქნა შემდგომი კვლევებით.

თელვის პროცესზე შალის ბოჭკოს დეფორმაციული თვისებების ცვლილებების ზეგავლენის კვლევამ ცხადჰყო, რომ ბორის შემცველ მოდიფიკატორებში ბოჭკოს დამუშავება ხელს უწყობს თელვის უნარის გაუმჯობესებას, რადგანაც უზრუნველყოფს თელვის ხარისხის განმსაზღვრელი ბოჭკოს დეფორმაციის ელასტიური და პლასტიკური შემადგენლის ზრდას. შედეგად, გარეგანი მექანიკური ზემოქმედებისას, იზრდება ბოჭკოს ეფექტური ფართობი, ხახუნისას ბოჭკოების ურთიერთშეხების ზედაპირი და თელვის ეფექტურობა.

მოდულირებული და არამოდულირებული შალის კლასილობისა და ზედაპირული სტრუქტურის კვლევამ აჩვენა, რომ ბორის ნაერთები ბოჭკოზე „რბილ“ ზემოქმედებას ახდენს. კერძოდ, ბორის ნაერთები შალის ბოჭკოს ძირითადი პოლიმერის - კერატინის პირველად სტრუქტურაში შემავალ სხვადასხვა ელემენტებთან წარმოქმნიან კომპლექსნაერთებს, რომლებიც ცვლილებებს ცილის პირველადი სტრუქტურის დონეზე იწვევენ. ამასთან, აღნიშნული ბორის კომპლექსები საღებრისთვის დამატებით აქტიურ ცენტრს წარმოადგენენ, ხოლო ბოჭკოს ზედაპირული სტრუქტურის დაზიანებას არ იწვევენ და ამდენად, თელვის პროცესს არ აფერხებენ, ბუნებრივი პიგმენტებით კოლორირებისას მიღებული შედეგილობები კი - უფრო ინტენსიურია და შედეგილობის ხარისხიც უფრო მაღალია.

ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმარების გზით მიღებულია თელვის პროცესის ადექვატური მოდელი, რომელიც თელვის რაციონალური პირობების განსაზღვრის საშუალებას იძლევა.

ბორის ნაერთების ანტიმიკრობული თვისებების გამო, მოდიფიცირებული შალი ბიოდესტრუქციის მიმართ გაუმჯობესებული თვისებებით გამოირჩევა.

მოდულირებული შალისგან თექის დამზადების ტექნოლოგია ეკოლოგიურად უსაფრთხო და ეკონომიკურად მიზანსწონილია.

კვლევების შედეგების სანდო, ობიექტური და კვალიფიცირებული ანალიზის საფუძველზე გაკეთებულია შემდეგი დასკვნები:

1. მოდიფიკატორებში A და B დამუშავება მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს თელვის ხარისხსა და ეფექტურობაზე. კერძოდ,

- მოდიფიკატორებში A და B წინასწარ დამუშავებისას თექის ხარისხი უმჯობესდება - თექის სიმჭიდროვე 7-13%-ით იზრდება;
- მოდიფიკატორებში A და B თელვისას დამუშავებისას თექის ხარისხი უმჯობესდება - თექის სიმჭიდროვე 13-25%-ით იზრდება;
- მოდიფიკატორებში A და B დამუშავებისას (როგორც წინასწარ, ასევე თელვის პროცესში) თელვის პროცესის ეფექტურობა - თექის სიმჭიდროვის ცვლილების ფარდობითი მაჩვენებელი იზრდება. შედეგად დაუმუშავებელი შალისაგან დამზადებული თექის შესაბამისი ხარისხის მიღება შესაძლებელია 700 ციკლით ნაკლებ პირობებში ე.ი. თელვის ინტენსივობის 25-28%-ით მცირდება. პრაქტიკულად ეს ნიშნავს, რომ თელვისათვის მნიშვნელოვნად ნაკლები დრო და ფიზიკური (ადამიანური ან მანქანური) ძალისხმევაა საჭირო.

2. მოდიფიკატორებში A და B დამუშავება შალის ბოჭკოს დრეკად-დეფორმაციული თვისებების ცვლილებას იწვევს. კერძოდ, იზრდება დეფორმაციის ელასტიური და პლასტიკური შემადგენლის ხვედრითი წილი, რაც გარეგანი ზემოქმედებისას ბოჭკოს ეფექტური ფართობის ზრდას განაპირობებს. შედეგად იზრდება ხახუნისას ბოჭკოების ურთიერთ შეხების ზედაპირი და თელვის ეფექტურობა.

3. მოდიფიკატორებში A და B დამუშავება შალის ბოჭკოს კლაკნილობის ხარისხობრივ და რაოდენობრივ ცვლილებას იწვევს. ამასთან, მოდიფიკატორის B ზემოქმედება უფრო ეფექტურია:

- ადგილობრივი ცხვრის მატყლის შემთხვევაში იზრდება ტალღისებური და ბრტყელი კლაკნილობის ბოჭკოების ხვედრითი წილი, ხოლო გლუვი ბოჭკოს რაოდენობა უმნიშვნელოა;
- მერინოსის ჯიშის ცხვრის მატყლის შემთხვევაში იზრდება ბრტყელი და ნორმალური კლაკნილობის ბოჭკოს წილი;
- მოდიფიკატორები A და B „რბილ“ ზემოქმედებას ახდენენ ბოჭკოზე: არ იწვევენ ზედაპირული სტრუქტურის - „ქერცლოვანი შრის“ დაზიანებას. ამასთან, თავად ბოჭკოს სტრუქტურა უფრო მოწესრიგებული და ორიენტირებული ხდება, რაც მისი სიწმინდის ზრდას იწვევს. შედეგად თელვის ხარისხი უმჯობესდება.

4. ორფაქტორიანი არაწრფივი როტატაბელური დაგეგმარების საფუძველზე დადგენილ იქნა, რომ მოდიფიკატორებში A და B დამუშავებული შალის თელვის რაციონალური პირობებია 1,5% მოდიფიკატორში დამუშავება და თელვა 2000 ციკლით.

5. მოდიფიცირებული და არამოდიფიცირებული შალის პიგმენტებით ღებვისას მიღებული შედეგილობის ფერთა ტონი და ინტენსივობა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ღებვის პირობებზე (pH, დრო, ტემპერატურა):

- მყავა გარემოში ღებვისას მიღებული შედეგილობა ნაკლებად ინტენსიურია და ფერთა ტონი გრძელი ტალის სიგრძეებისკენ არის გადანაცვლებული, ტუტე გარემოში შეღებილი ბოჭკოს შედეგილობის ინტენსივობა უფრო მაღალია და ფერთა ტონი მოკლე ტალის სიგრძეებისკენ არის გადანაცვლებული, შედეგილობა უფრო ღრმა და გაჯერებულია; მოდიფიცირებული შალის ღებვისას შეფერილობის ინტენსივობა 15–19%-ით იზრდება;
- ცივი ღებვის პირობებში შედეგილობის ინტენსივობის მაქსიმუმზე გასვლა უფრო სწრაფად ხდება, ვიდრე 85-90°C ტემპერატურაზე ღებვისას. ამასთან, ცივი ღებვის შედეგად მიღებული შეფერილობების ინტენსივობა უფრო მაღალია, ვიდრე 85-90°C ტემპერატურაზე ღებვის შედეგად მიღებული შეფერილობის ინტენსივობები.

6. მოდიფიცირებული შალის მიერ სხვადასხვა ბუნებრივი საღებრების (პიგმენტების) ამოკრების ხარისხი 3-16 %-ით, ხოლო ფიქსაციის ხარისხი 3-15 %-ით უმჯობესდება. ამასთან, საღებრის ამოკრება და ბოჭკოზე ფიქსაცია საუკეთესოა 0,5-1,0 %-იანი მოდიფიკატორით დამუშავებული შალისთვის.

7. მოდიფიცირებული შალის შედეგილობები სინათლისა და სველი დამუშავების (საპონ-სოდის ხსნარში რეცხვა) მიმართ მდგრადობის უკეთესი მახასიათებლებით ხასიათდება და მდგრადობა 0,5-1 ბალით უმჯობესდება.

8. მოდიფიცირებული შალი ბიოლოგიური დესტრუქციისადმი გაუმჯობესებული მახასიათებლებით გამოირჩევა:

- მოდიფიკატორში A დამუშავებული შალის მდგრადობა მიკროორგანიზმების ზემოქმედების მიმართ შეიძლება შეფასდეს მაქსიმალური 5 ბალით; დაუმუშავებელი და მოდიფიკატორში B დამუშავებული შალის ბოჭკო კი -

ნაწილობრივ ზიანდება მიკროორგანიზმების მიერ და მათი მდგრადობა 2-3 ბალის ფარგლებშია;

- მოდიფიკატორებში დამუშავებული შალი ჩრჩილის მიერ დაზიანების მიმართ კარგი მდგრადობით გამოირჩევა და დაუზიანებლად ინარჩუნებს სტრუქტურას ბუნებრივ პირობებში შენახვისას.

9. მოდიფიცირებული შალის გამოყენება ეკოლოგიურად უსაფრთხოა, როგორც ადამიანისათვის ასევე გარემოზე ზემოქმედების თვალსაზრისით:

- ადამიანის კანზე ბორის ნაერთების გარეგანი ზემოქმედება სრულიად უსაფრთხოა; სისხლში მოხვედრის შემთხვევაშიც კი - იგი უსაფრთხოა ადამიანისთვის, ვინაიდან ბორის ნაერთების გამოყენებული რაოდენობა ( $\approx 1$  მგ) ნაკლებია ბორის აუცილებელ სადღეღამისო ნორმაზე (0,2-4 მგ);
- ღებვის რეცეპტურიდან ამოღებულია ფერმჭერები (მძიმე მეტალის მარილები), ამდენად, როგორც ადამიანზე, ასევე გარემოზე ზემოქმედების თვალსაზრისით, შეღებილი მასალა უსაფრთხოა.
- მოდიფიცირებული შალის ნაწარმის ბუნებრივი პიგმენტებით ღებვის შემდეგ ჩამდინარე წყლებში საღებრის რაოდენობა 5-30%-ით მცირდება. ამასთან, მოდიფიცირებული შალის ღებვის და რეცხვის შემდეგ ნარჩენი სამღებრო აბაზანისა და ჩამდინარე წყლების ხელახლა ტექნოლოგიურ ციკლში გამოყენება პრაქტიკულ სიძნელეს არ წარმოადგენს.

10. გაუმჯობესებული სამომხმარებლო თვისებების გათვალისწინებით, მოდიფიცირებული შალის გამოყენება თელვისას ეკონომიკურად მიზანშეწონილია. საბაზრო ფასების გათვალისწინებით, როგორც შეუღებავი შალის თელვისას, ასევე შეღებილი ნაწარმის დამზადების შემთხვევაში - დანახარჯები მცირდება, ვინაიდან რეცეპტურიდან ამოღებულია სხვადასხვა დამხმარე ნივთიერებები და ფერმჭერები. ამასთან, სასურველი კოლორისტული მახასიათებლების შეფერილობის მიღება შესაძლებელია ბუნებრივი პიგმენტების 10-15%-ის ეკონომიის პირობებში.

## ლიტერატურა

1. ბუაძე ე. თექა. თეორია და პრაქტიკა. I ნაწ., აწსუ გამომცემლობა, ქუთაისი, 2013
2. Mehra R.H., Anier. Mehra, Aum R. Mehra. Speciality chemicals for processing of wool. // Colourage 39, №19, 1990. p. 83-89.
3. Lee Munchoul, Wakida Tomiji, Lee Myung San, Pak Pyong Ki, Chen Jierong. Dyeing transition temperature of wools treated with low temperature plazma, liquid ammonia,ans high- pressure steam in dyeing with acid and disperse dyes. // J.Appl. Polym. Sci. 80, №7, 2001. p. 1058-1062.
4. Буртовая О.С. Докторская диссертация. Разработка непрерывного способа крашения шерсти, подготовленной с использованием низкотемпературной плазмы, кислотными красителями. – Москва: 2006, с.97-99.
5. Сминова С.В. Оценка влияния ТВВ различной природы на крашение шерсти красителями. Известия высших учебных заведений. Химия и химическая металлосодержащими техгология. Научно-технический журнал.-2007-Том 50. Выпуск 9. с.86-89.
6. შარაბიძე მ. თანამედროვე და ტრადიციული თექა. აწსუ გამომცემლობა, ქუთაისი, 2014
7. Новорадовская Т.С., Садова С.Ф. Химия и Химическая технология шерсти.- Москва: Легпромбытиздат, 1986,- с. 35-42.
8. გოგინოვი ქ., შარაბიძე მ., ბუაძე ე. ბორაქსით მოდიფიცირებული შალის ნაწარმის სიმტკიცისა და დრეკად-დეფორმაციული თვისებების კვლევა. // საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ქუთაისის სამეცნიერო ცენტრის შრომები XVII „მეცნიერება“, თბილისი, 2006. გვ.172-175
9. გოგინოვი ქ., შარაბიძე მ., ბუაძე ე. კომპლექსონები შალის ლეზვისათვის. // საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ქუთაისის სამეცნიერო ცენტრის შრომები XVII „მეცნიერება“, თბილისი, 2006. გვ.176-179
10. Гогинови К. М., Шарабидзе М.Р.,Буадзе Е.П.Влияние протрав на колористику окрашенной шерсти // Georgian Engineering News № 3, Тб. 2006. ст.288-289
11. გოგინოვი ქ., შარაბიძე მ., ბუაძე ე.ბორაქსში დამუშავებული შალის ბოჭკოს სორბციული თვისებების კვლევა.//მეცნიერება და ტექნოლოგიები N7-9.– თბილისი, 2006. გვ.100-101
12. Гогинови К. М., Шарабидзе М.Р., Буадзе Е.П. Исследование возможности образования борных комплексов с кератином шерсти. //Georgian Engineering News, спец.вып.,Тбилиси, 2007. ст.63-67
13. К.М. Гогинови, М.Р.Шарабидзе. Возможности применения буры в крашении шерсти.// Текстильная химия №1(30), Москва, 2008. ст.14-18
14. შარაბიძე მ., გოგინოვიქ. პირდაპირი და მჟავური საღებრების ბორის კომპლექსების წარმოქმნის შესაძლებლობის კვლევა. პერიოდული სამეცნიერო



- ჟურნალი „ხანძთა“, №9 (14), ქუთაისი-თბილისი, 2014, გვ.129-135
15. გოგინოვი ქ., შარაბიძე მ., ბუაძე ე. შალის ნაწარმის ღებვის ხერხი. საქართველოს პატენტი. სასარგებლო მოდელი. D06P1/39(7) N9451/02 07.03 . 2006.
  16. Шарабидзе М. Р., Гогинови К.М. Новая технология крашения шерсти. Международная научно-практическая конференция «Социально-экономические проблемы инновацион-ного развития», Баку, 2010. С. 333-335
  17. შარაბიძე მ. ბორაქსში დამუშავებული ბუნებრივი და სინთეზური პოლიამიდური ნაწარმის ღებვის თეორიის, მექანიზმისა და ტექნოლოგიის შემუშავება. სადოქტორო დისერტაცია. ქუთაისი, 2003.
  18. გოგინოვი ქ. ბორაქსის გამოყენების შესაძლებლობის კვლევა შალის ღებვის პროცესში. საინჟინრო მეცნიერებებში დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წამოდგენილი დისერტაცია. ქუთაისი, 2010.
  19. Кукин Г.И., Соловьев А.И., Кобляков А.И. Текстильное материаловедение. – Москва: Легпромбытиздат, 1992.-с.117-119.
  20. Разработка научных основ и промышленного освоения новых технологий, направленных на повышение конкурентоспособности продукции шерстяной и смешанных отраслей текстильной и легкой промышленности: сборник научных трудов / [под ред. Разумеева К.Э.]. - М.: Оргсервис, 2006. - 236 с.
  21. [C. W. Kan C. W. M. Yuen. Low Temperature Plasma Treatment for Wool Fabric.](#) // Textile Research Journal, vol. 76, 4: pp. 309-314. , First Published Apr 1, 2006.
  22. Обработка текстильных материалов плазмой // VivianiFabio, Riv. techol. Tess. - 2003. - № 3. - С. 110-116.
  23. Шевелева И.А., Белокурова О.А., Щеглова Т.Л., Заведская А.Е. Оценка модифицирующего действия липосом на шерстяное волокно / // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. - 2005. - № 1. - С. 58-60.
  24. C.W. Kan, K. Chan, C. W. M. Yuen , M. H. Miao. Plasma modification on wool fibre: effect on the dyeing properties. // JOURNAL OF THE SOCIETY OF DYERS AND COLOURISTS. Volume 114, Issue 2, February 1998, Pages: 61–65
  25. Ермолаева А.В. Интенсификация первичной обработки шерсти на основе метода электроразрядной нелинейной объемной кавитации / А.В. Ермолаева, Ю.Г. СарIBEKOBA // Вестник Херсонского национального технического университета. - 2006. - № 3 (26). - С. 50-53.
  26. Ермолаева А.В. Обоснование выбора двухстадийной технологии обработки шерсти на основе метода электроразрядной нелинейной объемной кавитации и оптимизация ее параметров / А.В. Ермолаева, Ю.Г. СарIBEKOBA, С.А. Мясников // Вісник Хмельницького національного університету. - 2008. - № 1. - С. 111-114.
  27. Кулаков О.И. Розробка мийних засобів для первинної обробки вовни на основі поверхнево- активних речовин вітчизняного виробництва / О.И. Кулаков, А.В.

- Ермолаева, Ю.Г. Сарібекова // Вісник Хмельницького національного університету. - 2007. - № 6. - С. 80-84.
28. [Qing Li, Cailing Ding, Hengxing Yu, Christopher J. Hurren, Xungai Wang](#). Adapting ultrasonic assisted wool scouring for industrial application//Textile Research Journal, vol. 84, 11: pp. 1183-1190. , First Published January 27, 2014.
  29. [Qing Li, Christopher J Hurren, Hengxing Yu, Cailing Ding, Xungai Wang](#). [Thermal and mechanical properties of ultrasonically treated wool](#). // Textile Research Journal, vol. 82, 2: pp. 195-202. , First Published October 25, 2011.
  30. [Maryam Naebe, Yao Yu, Bruce A McGregor, David Tester, Xungai Wang](#). [The effect of humidity and temperature on Wool ComfortMeter assessment of single jersey wool fabrics](#). //Textile Research Journal, vol. 83, 1: pp. 83-89. , First Published April 20, 2012.
  31. J. Shao, C J Hawkyard and C M Carr. Investigation into the effect of UV/ozone treatments on the dyeability and printability of wool. //JOURNAL OF THE SOCIETY OF DYERS AND COLOURISTS. Volume 113, Issue 4, April 1997, Pages: 126–130
  32. [Cailing Ding, Jianyong Yu](#), Weiguo Chen. [The structure and properties of wool treated with a reversed-phase microemulsion containing aqueous alkali](#). //Textile Research Journal, vol. 88, 3: pp. 254-260. , First Published November 13, 2016.
  33. [Susie J. Meade, Jolon M. Dyer, Jonathan P. Caldwell, Warren G. Bryson](#). [Covalent Modification of the Wool Fiber Surface: Removal of the Outer Lipid Layer](#). //Textile Research Journal, vol. 78, 11: pp. 943-957. , First Published November 1, 2008.
  34. [Susie J. Meade, Jonathan P. Caldwell, Anita J. Hancock, Katie Coyle Jolon M. Dyer Warren G. Bryson](#). [Covalent Modification of the Wool Fiber Surface: The Attachment and Durability of Model Surface Treatments](#).//Textile Research Journal, vol. 78, 12: pp. 1087-1097. , First Published December 1, 2008.
  35. [Carmen Domínguez, Pilar Erra, Josep Maria Bayona](#). [Physico-chemical and Dyeing Properties of Raw Wool Extracted by Pressurized CO<sub>2</sub>/Modifiers](#).//Textile Research Journal, vol. 80, 7: pp. 651-659. , First Published August 21, 2009.
  36. Jackie Y Cai, John A Rippon, Jill McDonnell and Anne E Parnell. Dyeing wool with a Sulphur black dye using a sodium borohydride/sodium bisulphite reducing system.// COLORATION TECHNOLOGY, Volume 128, Issue 1, February 2012, Pages: 9–14
  37. Xue Zhao, Jin-xin He, Yi-zhen Zhan. Research in the cold pad–batch dyeing process for wool pretreated by hydrogen peroxide.//COLORATION TECHNOLOGY, Volume 125, Issue 3, June 2009, Pages: 172–177
  38. Текстильные биохимические технологии - сегодня и завтра: сб. тез. докл. III Конгресса химиков- текстильщиков и колористов. - М., 2000. - С. 65.

39. Биохимические технологии подготовки текстильных материалов из натуральных волокон // Биотехнология в текстильной индустрии: материалы симпозиума. - Португалия, 2000. - С. 279.
40. Чешкова А.В. Ферментативная модификация природных волокнообразующих полимеров на различных стадиях подготовки текстильных материалов: Дис.... д-ра техн. наук: 05.19.02 / А.В. Чешков - Иваново, 2006. - 338 с.
41. Пехташева Е.Л., Неверов А.Н., Викулова Н.К., Сеницин Н.М. Влияние микроорганизмов на изменение структуры волокон шерсти / Пехташева Е.Л., Неверов А.Н., Викулова Н.К., Сеницин Н.М // «Прогресс - 2000»: материалы междунаучно-техн. конф. - Иваново, 2000. - С. 172.
42. J. D. Leeder, J. A. Rippon. Changes Induced in the Properties of Wool by Specific Epicuticle Modification. // JOURNAL OF THE SOCIETY OF DYERS AND COLOURISTS, Volume 101, Issue 1, January 1985, Pages: 11–16
43. Новорадовский А. Применение ферментов концерна «Клариант» в отделке текстильных материалов // Текстильная химия. - 1998. - № 2. - С. 73-84.
44. Николаев А. Энзимы фирмы Новонордиск для текстильной промышленности // Текстильная химия. - 1998. - № 2 (14). - С. 65-67.
45. Takagishi T., Hayashi N., Morimoto K., Tahara M. Shrink proofing of wool fabrics by Pulse Corona Discharge and Enzymes // 19-th IFATCC Congress. - Paris, 2002.
46. Wafaa El-Sayed, Reem Nofal, Hosam El-Sayed. Use of lipoprotein lipase in the improvement of some properties of wool fabrics. // COLORATION TECHNOLOGY, Volume 126, Issue 5, October 2010, Pages: 296–302
47. J. D. Leeder, J. A. Rippon. Changes Induced in the Properties of Wool by Specific Epicuticle Modification. // JOURNAL OF THE SOCIETY OF DYERS AND COLOURISTS, Volume 101, Issue 1, January 1985, Pages: 11–16
48. [M. Marti, R. Ramirez, C Barba, L. Coderch, J. Parra. Influence of Internal Lipid on Dyeing of Wool Fibers.](#) // Textile Research Journal, vol. 80, 4: pp. 365-373. , First Published July 15, 2009.
49. A Riva, J M Alsina and R Prieto. Enzymes as auxiliary agents in wool dyeing. // COLORATION TECHNOLOGY, Volume 115, Issue 4, April 1999, Pages: 125–129
50. [Mengli Yuan, Qiang Wang, Jinsong Shen, Edward Smith, Rubing Bai, Xuerong Fan. Enzymatic coloration and finishing of wool with laccase and polyethylenimine.](#) // Textile Research Journal, First Published 15 Jun 2017.
51. Пешков С. А. Свальянность шерсти и метод её измерения при комплексной оценке качества шерстяного сырья. Кандидатская диссертация. Ставрополи, 1984
52. [http://voilok-wool.ru/vse-o-valyanii?folder\\_id=7840406&mode=folder](http://voilok-wool.ru/vse-o-valyanii?folder_id=7840406&mode=folder), უკანასკნელი ნახვა 24.02.2018
53. ა.შანშიაშვილი. მასალათა გამძლეობა. თბილისი, გამომცემლობა „ცოდნა“, 1964. 484 გვ.

54. ვალიშვილი ნ., გიორხელიძე დ. მასალების და კონსტრუქციების გამძლეობა. თბილისი, გამომცემლობა „ჯი სი აი“. 2008. 548 გვ.
55. ო.კიკვიძე. ლაბორატორიული სამუშაოს პრაქტიკული მასალათა გამძლეობაში. ქუთაისი, აწსუ გამომცემლობა. 2013. 40 გვ.
56. ელექტრონული რესურსი: <http://physics.aidio.net/index.php/18-teoria/14-xaxunis-zala>. უკანასკნელი ნახვა 28.01.2018
57. [G.F. Flanagan](#). Felting and Ratchet Action of Wool Fibers. // Textile research journal, Volume: 36 issue: 1, page(s): 55-65, Issue published: January 1, 1966
58. [J.R. McPhee](#). Increasing the Felting Rate of Wool. // Textile research journal, Volume: 32 issue: 1, page(s): 14-23, Issue published: January 1, 1962
59. [Naraindra Kistamah](#), [Lubos Hes](#), [Khandini Rajmun](#), (2017) "Physical properties of nonwoven and woven felted fabrics", Research Journal of Textile and Apparel, Vol. 21 Issue: 3, pp.178-187, <https://doi.org/10.1108/RJTA-02-2017-0005>
60. [Masukuni Mori](#), [Norihiko Inagaki](#), (2006) "Relationship Between Anti-Felting Properties and Physicochemical Properties of Wool Treated with Low-Temperature Plasma", Research Journal of Textile and Apparel, Vol. 10 Issue: 1, pp.33-45, <https://doi.org/10.1108/RJTA-10-01-2006-B005>
61. [Pelin Gurkan Unal](#), [Riza Atav](#). [Determination of the relationship between fiber characteristics and felting tendency of luxury fibers from various origins](#). //Textile Research Journal, First Published 6 Jan 2017.
62. [https://www.researchgate.net/publication/237698349\\_FACTORS\\_AFFECTING\\_FELTING\\_OF\\_WOOL](https://www.researchgate.net/publication/237698349_FACTORS_AFFECTING_FELTING_OF_WOOL). Article in Colourage 68(1) · May 2007
63. A.S.M.Raja, D.B.Shakyawar, A.Kumar, P.K.Pareek. Feltability of coarse wool and its application as technical felt. // Indian journal of Fiber and Textile research, Vol.38, December 2013. P.395-399
64. Кричевский Г.Е. Химическая технология текстильных материалов. Москва: 2001. т. 2, 280 с.
65. პრაქტიკული კოლორირება. დამხმარე სახელმძღვანელო. გამომცემლობა „საქართველო“, ქუთაისის ფილიალი, 2001. 72 გვ.
66. [D. Das](#), [D. B. Datta](#), P. Bhattacharya. [Simultaneous Dyeing and Finishing of Silk Fabric With Natural Color and Itaconic Acid](#). //Clothing and Textiles Research Journal, vol. 32, 2: pp. 93-106. , 2014.
67. [Y. V. Li](#), [N. Malensek](#), [A. K. Sarkar](#), C. Xiang. [Colorfastness Properties of Persimmon Dye on Cotton and Wool Fabrics](#). // Clothing and Textiles Research Journal, vol. 34, 3: pp. 223-234. , First Published May 18, 2016.
68. [Kyung Hwa Hong](#). [Preparation and properties of cotton and wool fabrics dyed by black rice extract](#). //Textile Research Journal, vol. 85, 18: pp. 1875-1883. , First Published February 2, 2015.

69. [E. Koh, K. H. Hong. Preparation and properties of wool fabrics dyed with spent coffee ground extract.](#) //Textile Research Journal, First Published 13 Oct 2017.
70. [T. Amemiya, T. Nakanishi. Deodorization for ethanethiol by cotton and wool fabrics mordant dyed with congo red and copper \(II\) sulfate.](#) //Textile Research Journal, First Published 23 Feb 2017.
71. Лабораторный практикум по ХТВМ. Под редакцией Кричевского Г.Е. –Москва: Легкая индустрия, 1990.
72. Лабораторный практикум по текстильному материаловедению. Под редакцией Коблякова А.И. – Москва: Легпромбытиздат, 1992.
73. შარაბიძე მ. ლაბორატორიული პრაქტიკუმი საფეიქრო მასალათა კოლორირების საფუძვლებსა და ფერთამცოდნეობაში. ქუთაისი: საქართველო, 1999.
74. ზ. მალაფერიძე, ლ. წივწივაძე, მ. მარდალეიშვილი. საფეიქრო მასალათმცოდნეობა. მეთოდური მითითებანი ლაბორატორიული სამუშაოებისათვის. ქსტუ. 2005
75. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента – Москва: Легкая индустрия, 1974. – с.93-101.
76. შარაბიძე მ. რ., გოგინოვი კ.მ., ხვადაგიანი ლ.ს. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙЛАЧИВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ШЕРСТИ ISBN 978-5-906973- 36-8 IX International scientific conference INTERNATIONAL INNOVATION RESEARCH. International center for scientific cooperation “Science and education”, 12 June, 2017 26-29
77. შარაბიძე მ. რ., გოგინოვი კ.მ. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЕРАТИНА МОДИФИЦИРОВАННОЙ ШЕРСТИ. ISSN 2312-8267 «Наука, техника и образование». 11 НТО (41) № 675, 2017 37-41
78. შარაბიძე მ. რ., ხვადაგიანი ლ.ს. Исследование влияния деформационных свойств модифицированной шерсти на процесс свойлачивания. ISSN 2072-0297 Международный научный журнал «Молодой ученый» №23 (157), 2017 180-183
79. გოგინოვი კ. მ., შარაბიძე მ.რ., ბუაძე ე.პ. Исследование возможности образования борных комплексов с кератином шерсти. Georgian Engineering News, спец. выпуск, Тбилиси , 2007. Ст.63-67
80. Аскадский А.А. Деформация полимеров.- М.: Химия, 1973 г.
81. Кукин Г.Н., Соловьев А.И. Текстильное материаловедение (исходные материалы) – М.: Легпромбытиздат, 1985 г.
82. Ерохин А.И., Ерохин С.А. Овцеводство. – М.: МСХА, 2004. – 478 с.
83. Методы исследования в текстильной химии. Справочник под ред.Кричевского Г.Е. Москва: Легпромбытиздат.1993 398 ст.

84. Шарабидзе М.Р., Гогинови К.М. Модификация белковых волокон путем образования борных комплексов. 2-й Всероссийская научная конференция "Успехи синтеза и комплексообразования" - РУДН, Москва, 2012, ст.293
85. შარაბიძე მ.რ., გოგინოვი ქ.მ. ბორაქსით მოდიფიცირებული საღებრების კოლორიმეტრული მახასიათებლების კვლევა // პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი „ნოვაცია“, №1, ქუთაისი, 2013. გვ.239-245
86. Гогинови К.М., Шарабидзе М.Р., Буадзе Е.П. Исследование возможности образования борных комплексов с кератином шерсти. // Georgian Engineering News, спец.вып., Тбилиси, 2007. ст.63-67
87. Шарабидзе М.Р., Гогинови К.М. ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БУРЫ В КРАШЕНИИ ШЕРСТИ. // Текстильная химия №1(30), Москва, 2008. ст.14-18
88. Чуб В. Для чего нужны антоцианы // Цветоводство. – 2008. №6 – С. 22
89. ლ. ხვადაგიანი, ქ. გოგინოვი, მ.შარაბიძე. მოდიფიცირებული და არამოდიფიცირებული შალის ბოჭკოს ბუნებრივი პიგმენტებით ღებვის თავისებურებები. პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი „ნოვაცია“, №15, ქუთაისი, 2015, 196-199
90. Шарабидзе М. Р., Гогинови К.М., Хвадаგიანი Л.С. RESEARCH OF DYEING OF MODIFIED WOOL BY NATURAL PIGMENTS. ISBN 978-5-9909145- 4-4 VI International scientific conference EUROPEAN RESEARCH. International center for scientific cooperation “Science and education”, 7 November, 2016 61-65
91. Рэнби Б., Рабек Я. Фотодеструкция, фотоокисление, фотостабилизация полимеров. Пер с англ. Под редакцией Н.М. Эмануэля. –Москва :Мир, 1978. -675 с.
92. [Maja Kaisersberger-Vincek, Janez Štrancar, Vanja Kokol. Antibacterial activity of chemically versus enzymatic functionalized wool with ε-poly-L-lysine. //Textile Research Journal, vol. 87, 13: pp. 1604-1619. , First Published July 5, 2016.](#)
93. [Parthiban Manickam, G Thilagavathi. A natural fungal extract for improving dyeability and antibacterial activity of silk fabric. // Journal of Industrial Textiles, vol. 44, 5: pp. 769-780. , First Published December 17, 2013.](#)
94. Arthur C Welham. Advances in the Afterchrome Dyeing of Wool.//JOURNAL OF THE SOCIETY OF DYERS AND COLOURISTS.Volume 102, Issue 4, April 1986, Pages: 126–131, Version of Record online : 22 OCT 2008, DOI: 10.1111/j.1478-4408.1986.tb01065.x
95. Fleckensfein Erwin. Ekologie und Textilveredlung. Melli and Textilber –1992 -73, № 2, - p. 256-263.
96. 2. Schollmeyer E., Bahners T. Untersuchung Staubfiltration in der Textilindustrie. Melliand Textilber – 1991 – 72, №4.- p. 307-309.
97. 3. Накано С. Стратегия экологической консервации в красильном производстве. Dyeind Ind.–1991, 39 №3, с. 130-137.

98. მ.შარაბიძე, ქ.გოგინოვი. ეკოლოგიური ტექსტილის კონცეფცია და აუცილებელ ღონისძიებათა სისტემა. //პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი „ნოვაცია“, №20, ქუთაისი, 2017. გვ.61-64
99. ლ. ხვადაგიანი ქ. გოგინოვი, მ.შარაბიძე. მოდიფიცირებული შალის ღებვის ეკოლოგიური უსაფრთხოების საკითხები. საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენცია თემაზე: “თანამედროვე საინჟინრო ტექნოლოგიები და გარემოს დაცვა”. აწსუ 2016
100. ელექტრონული რესურსი: <http://xcook.info/makrojelementy/bor.html#content>. უკანასკნელი ნახვა 16.02.2018
101. Каталог формул расчета экономического эффекта новой технологии. Киев: Украина, 1980. - с. 156

დაწარმო





b			სიმჭიდროვ ე გრ /სმ3	შეკლება 1		a 2	
1	2	საშუალო		1	2	1	2
14	17	15,5	34,8735833	-0,71997	12,01171875	15	18
19	21	20	27,027027	-0,63867	44,53125	18	19
18,5	20	19,25	27,34108	-0,68361	26,55709343	18	19
14	17	15,5	35,8422939	-0,72754	8,984375	15	17,5
16	19	17,5	30,075188	-0,67529	29,8828125	17	19
17,5	18	17,75	29,6515938	-0,70826	16,69550173	18,5	19,5
15	18	16,5	38,4800385	-0,74622	1,513671875	16	18
15	18	16,5	32,7600328	-0,7019	19,23828125	16	20
17	18	17,5	30,075188	-0,71237	15,05190311	18	19
15	17,5	16,25	38,4615385	-0,74609	1,5625	15,5	18
15	18	16,5	33,6700337	-0,70996	16,015625	16	18
18	19	18,5	30,4529882	-0,71594	13,62456747	18	19
17	17	17	32,6797386	-0,70117	19,53125	17	18
16	17	16,5	32,7600328	-0,7019	19,23828125	17	18
16	16	16	39,6825397	-0,75391	-1,5625	16	16,5
16,5	15,5	16	37,3134328	-0,73828	4,6875	16,5	16
16,5	16	16,25	36,73938	-0,73419	6,323242188	16	17
16	16	16	37,3134328	-0,73828	4,6875	16,5	17
16,5	16	16,25	37,2960373	-0,73816	4,736328125	16	15
15	16	15,5	39,7022333	-0,75403	-1,61132813	15,5	15
15	15,5	15,25	38,5728062	-0,74683	1,26953125	15	15,5
16	16,5	16,25	37,8698225	-0,74213	3,149414063	16	16
15,5	15	15,25	41,63414	-0,76544	-6,17675781	16	15,5
16	17	16,5	39,1006843	-0,75024	-0,09765625	15	16
16,5	17	16,75	31,840796	-0,6933	22,68066406	16,5	17
		15,5	36,3471149	-0,73132	7,470703125		
15	16					16	17
		16,75	36,73938	-0,73419	6,323242188		
16,5	17					16	17
16	17	16,5	37,2960373	-0,73816	4,736328125	16	17
				მოცულობის შეკლება	ფართობის შეკლება თელვის დაწყებიდან		

საშუალო	b 2			სიმჭიდროვე გრ/სმ3	შეკლება 2		1
	1	2	საშუალო				
16,5	18	19	18,5	40,950041	-0,761523438	0,06451613	18
18,5	18	21	19,5	34,6500347	-0,718164063	-0,025	18
18,5	19	20	19,5	34,6500347	-0,750346021	-0,01367054	19
16,25	15	18	16,5	46,6200466	-0,790527344	-0,03897849	15,5
18	16	20	18	38,5802469	-0,746875	-0,02556391	17
19	18	19	18,5	35,5618777	-0,756747405	0,04225352	17
17	14	17	15,5	47,4383302	-0,794140625	0,01394901	17
18	16	18	17	40,8496732	-0,7609375	0,002457	16
18,5	18,5	20	19,25	35,1000351	-0,753546713	0,07105263	18
16,75	14,5	17	15,75	47,3821369	-0,793896484	0,01466346	14,5
17	15	20	17,5	42,0168067	-0,767578125	0,0016835	15
18,5	17	17,5	17,25	39,1696044	-0,779152249	-0,02816901	17
17,5	17	17	17	42,0168067	-0,767578125	-0,02777778	17
17,5	16,5	17,5	17	42,0168067	-0,767578125	-0,02538903	17
16,25	17	17	17	45,2488688	-0,784179688	0,09623016	17
16,25	16,5	17	16,75	45,924225	-0,787353516	0,015625	16
16,5	15	15,5	15,25	49,6770989	-0,803417969	-0,07554535	15,5
16,75	15	15,5	15,25	48,9356496	-0,800439453	-0,046875	16
15,5	16,5	15,5	16	50,4032258	-0,80625	-0,07505828	16
15,25	16	16,5	16,25	50,4413619	-0,806396484	-0,01612903	15,5
15,25	16	17	16,5	49,6770989	-0,803417969	-0,02941176	17
16	16	16,5	16,25	48,0769231	-0,796875	-0,01538462	16
15,75	15	15,5	15,25	52,042675	-0,812353516	0	15
15,5	16	17	16,5	48,8758553	-0,800195313	0	15
16,75	17	17,5	17,25	43,2619511	-0,774267578	-0,08	16,5
16,5			17,25	43,9174352	-0,777636719	0,03452976	
	17	17,5					17
16,5			15,75	48,1000481	-0,796972656	-0,04523536	
	15,5	16					16
16,5	16	16,5	16,25	46,6200466	-0,790527344	0	16
					მოცულობის შეკლება	ფართობის შეკლება თელვის დაწყებიდან	

a 3		b 3			სიმჭიდროვ ე გრ/სმ3	შეკლება 3	
2	საშუალო	1	2	საშუალო			
19	18,5	14	17	15,5	58,1226388	-0,831982422	0
21	19,5	16	19	17,5	48,8400488	-0,800048828	-0,0777
20	19,5	18	19	18,5	46,2000462	-0,812759516	-0,01367
19	17,25	14	16,5	15,25	63,3563	-0,845861816	-0,05712
20	18,5	16	18	17	52,9941706	-0,815722656	-0,05414
19	18	18	19	18,5	50,0500501	-0,82716263	-0,0126
15	16	17	15	16	65,1041667	-0,85	-0,01491
18	17	16	20	18	54,4662309	-0,820703125	0,002457
20	19	17	18	17,5	50,1253133	-0,827422145	0
17	15,75	15	18	16,5	64,1333975	-0,847729492	-0,00048
18	16,5	16	20	18	56,1167228	-0,825976563	0
18	17,5	18	18,5	18,25	52,1852577	-0,834234429	-0,02741
17,5	17,25	16	16,5	16,25	59,4574508	-0,835754395	-0,08395
18	17,5	16	17	16,5	57,7200577	-0,830810547	-0,05405
17,5	17,25	16	16	16	60,3864734	-0,83828125	0,095238
16,5	16,25	16	16	16	64,1025641	-0,84765625	-0,02985
16	15,75	15,5	16	15,75	67,1873688	-0,854650879	-0,08863
15,5	15,75	16	17	16,5	64,1333975	-0,847729492	-0,03032
16	16	16	16	16	65,1041667	-0,85	-0,04522
16	15,75	15,5	15	15,25	69,3902333	-0,859265137	-0,0464
16	16,5	15	16	15,5	65,1678071	-0,850146484	-0,0135
16	16	16,5	16	16,25	64,1025641	-0,84765625	-0,01538
15,5	15,25	15,5	16	15,75	69,3902333	-0,859265137	0
15,5	15,25	16	16,5	16,25	67,2551492	-0,854797363	-0,03104
17	16,75	16,5	17	16,75	59,4044702	-0,83560791	-0,10667
	17,5			15,75	60,4686319	-0,838500977	
18		16	15,5				0,001817
	16			16,25	64,1025641	-0,84765625	
16		16	16,5				-0,04478
16,5	16,25	16,5	15,5	16	64,1025641	-0,84765625	-0,0303
						მოცულობის შეკლება	ფართობის შეკლება თელვის დაწყები დან

a 4			b 4			სიმჭიდროვე გრ /სმ3	შეკლება 4	
1	2	საშუალო	1	2	საშუალო			
15	18	16,5	14	18	16	75,75758	-0,87109	-0,07934
18	19	18,5	16	21	18,5	58,43682	-0,83289	-0,32535
18	19	18,5	19	20	19,5	55,44006	-0,84397	-0,29203
14	17	15,5	15	18	16,5	78,20137	-0,87512	-0,34184
17	19	18	15	20	17,5	63,49206	-0,84619	-0,33054
17	20	18,5	17	18	17,5	61,77606	-0,85997	-0,29757
14,5	17	15,75	15,5	17	16,25	78,14408	-0,87503	-0,34181
15,5	20	17,75	16	19	17,5	64,38632	-0,84833	-0,33138
17,5	18	17,75	17	18	17,5	64,38632	-0,86565	-0,29953
15	18	16,5	14	16,5	15,25	79,48336	-0,87714	-0,34263
16	16	15	16	16	18	74,07407	-0,86816	-0,33913
18	18	18	17,5	18	17,75	62,59781	-0,86181	-0,2982
16	17	16,5	17	17	17	71,30125	-0,86304	-0,33712
17,5	17	17,25	16,5	16	16,25	71,34894	-0,86313	-0,33716
16,5	17	16,75	16	16	16	74,62687	-0,86914	-0,33951
15,5	17	16,25	16	16,5	16,25	75,73964	-0,87106	-0,34026
16	16	16	15,5	16	15,75	79,36508	-0,87695	-0,34256
17	16	16,5	15	16	15,5	78,20137	-0,87512	-0,34184
16	16	16	15,5	16	15,75	79,36508	-0,87695	-0,34256
16,5	15	15,75	15,5	16	15,75	80,62484	-0,87888	-0,34331
16	15	15,5	17	16	16,5	78,20137	-0,87512	-0,34184
15	16	15,5	15,5	16	15,75	81,92524	-0,8808	-0,34406
15,5	16	15,75	15,5	15	15,25	83,26828	-0,88272	-0,34481
15,5	15	15,25	16	17	16,5	79,48336	-0,87714	-0,34263
17	18	17,5	16,5	17	16,75	68,23028	-0,85687	-0,33472
		16,25			17	72,39819		
16,5	16		17	17			-0,86511	-0,33793
		16,75			16	74,62687		
16,5	17		16	16			-0,86914	-0,33951
16,5	17	16,75	15,5	16	15,75	75,81142	-0,87119	-0,34031
							მოცულობის შეკლება	ფართობის შეკლება თელვის დაწყებიდან



b			სიმჭიდროვ ე მგ/სმ	შეკლება 1		a 2	
1	2	საშუალო		1	2	1	2
14,5	15	14,75	58,4093872	-76,593	-6,37207031	16,5	17
13,5	14	13,75	59,0250329	-76,8372	-7,34863281	14	15
14	14,5	14,25	56,9539792	-75,9949	-3,97949219	15	15
14	15	14,5	59,4164456	-76,9897	-7,95898438	14,5	15
14,5	15	14,75	56,6658234	-75,8728	-3,49121094	17	17
15	15	15	57,4358974	-76,1963	-4,78515625	15,5	16
14,5	15	14,75	64,3493249	-78,7537	-15,0146484	14,5	15,5
14,5	15	14,75	56,6658234	-75,8728	-3,49121094	14,5	15
15,5	16	15,75	55,5555556	-75,3906	-1,5625	15	15,5
14,5	15	14,75	62,239511	-78,0334	-12,1337891	14,5	15
16	16,5	16,25	59,4164456	-76,9897	-7,95898438	16	16
15	15,5	15,25	60,1988713	-77,2888	-9,15527344	15,5	16
15	15	15	55,721393	-75,4639	-1,85546875	14,5	14,5
16	16,5	16,25	53,0177515	-74,2126	3,149414063	16	16
16,5	16	16,25	51,435132	-73,4192	6,323242188	16,5	16
16	16,5	16,25	60,4588394	-77,3865	-9,54589844	16	16,5
15,5	15	15,25	56,4943253	-75,7996	-3,19824219	16	16
15	16	15,5	57,3476703	-76,1597	-4,63867188	15,5	16
14,5	14	14,25	61,4035088	-77,7344	-10,9375	14,5	14
15	15,5	15,25	56,4943253	-75,7996	-3,19824219	16	16
15,5	15,5	15,5	59,2279217	-76,9165	-7,66601563	15,5	15
14,5	14,5	14,5	61,302682	-77,6978	-10,7910156	15,5	16
15,5	15,5	15,5	57,3476703	-76,1597	-4,63867188	16	16
15	15	15	59,2592593	-76,9287	-7,71484375	15	15
16,5	17	16,75	44,5771144	-69,3298	22,68066406	16,5	17
		15,5	50,8859609	-73,1323	7,470703125		
15	16					16	17
		16,75	51,435132	-73,4192	6,323242188		
16,5	17					16	17
16	17	16,5	52,2144522	-73,8159	4,736328125	16	17
				მოცულობის შეკლება	ფართობის შეკლება თელვის დაწყებიდან		

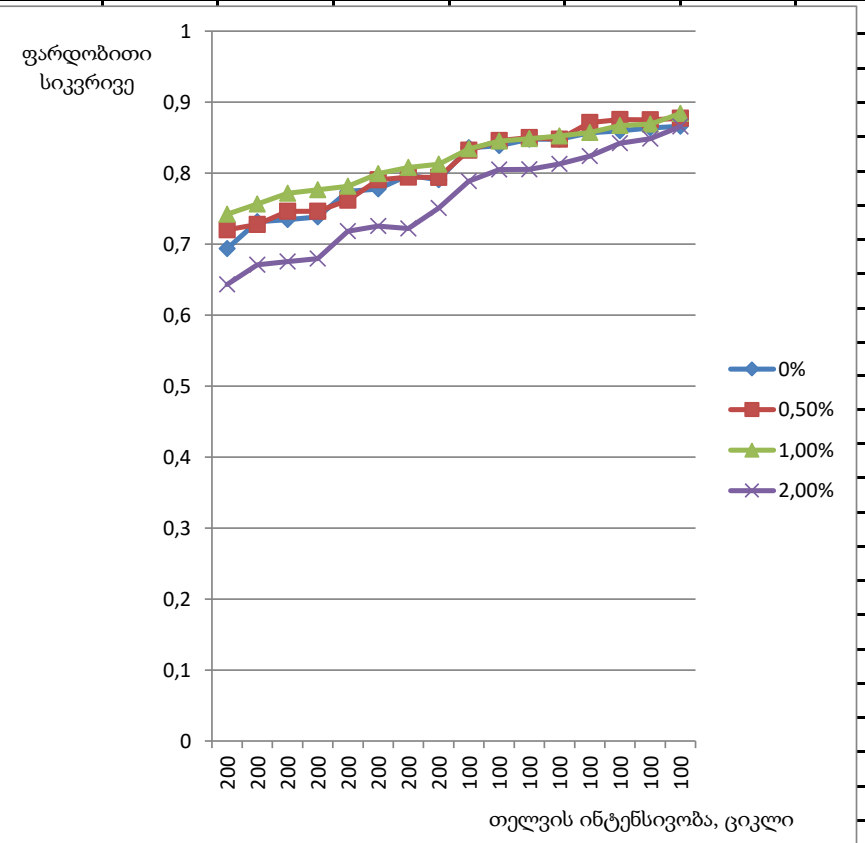
საშუალო	b 2		საშუალო	სიმჭიდროვე მგ/სმ	შეკლება 2		1
	1	2					
16,75	14,5	15	14,75	70,8322793	-0,806982422	0,03076923	15
14,5	16,5	17	16,75	72,0535255	-0,810253906	0,02397892	16,5
15	16	16,5	16,25	71,7948718	-0,809570313	-0,00839054	16,5
14,75	14,5	15,5	15	79,0960452	-0,827148438	-0,06100796	15
17	14	15	14,5	70,9939148	-0,807421875	-0,00227675	15
15,75	15,5	16	15,75	70,5467372	-0,806201172	0,01769231	16
15	14	15	14,5	80,4597701	-0,830078125	-0,00028727	14,5
14,75	16	16,5	16,25	73,011734	-0,812744141	-0,02985075	16,5
15,25	15,5	16	15,75	72,859745	-0,812353516	-0,046875	15,5
14,75	15	15,5	15,25	77,7993887	-0,824267578	0	15
16	14,5	15	14,75	74,1525424	-0,815625	0,00159151	14,5
15,75	15	15,5	15,25	72,859745	-0,812353516	0,03278689	15
14,5	16	16	16	75,4310345	-0,81875	-0,07661692	16,5
16	15,5	16	15,75	69,4444444	-0,803125	-0,04568047	16,5
16,25	16	15,5	15,75	68,3760684	-0,800048828	-0,05970149	16
16,25	14,5	14	14,25	75,5735493	-0,819091797	0	14,5
16	15,5	16	15,75	69,4444444	-0,803125	0,01689786	15,5
15,75	15,5	16	15,75	70,5467372	-0,806201172	0,01612903	16
14,25	16	16	16	76,754386	-0,821875	0	16
16	15,5	15	15,25	71,7213115	-0,809375	-0,01538462	16
15,25	15	15	15	76,5027322	-0,821289063	-0,03225806	15,5
15,75	14,5	14	14,25	77,9727096	-0,824658203	-0,01724138	14,5
16	15	15	15	72,9166667	-0,8125	-0,01689708	15
15	15,5	16	15,75	74,0740741	-0,815429688	0	15,5
16,75	17	17,5	17,25	60,5667316	-0,774267578	-0,08	16,5
16,5			17,25	61,4844093	-0,777636719	0,03452976	
	17	17,5					17
16,5			15,75	67,3400673	-0,796972656	-0,04523536	
	15,5	16					16
16,5	16	16,5	16,25	65,2680653	-0,790527344	0	16
					მოცულობის შეკლება	ფართობის შეკლება თელვის დაწყებიდან	



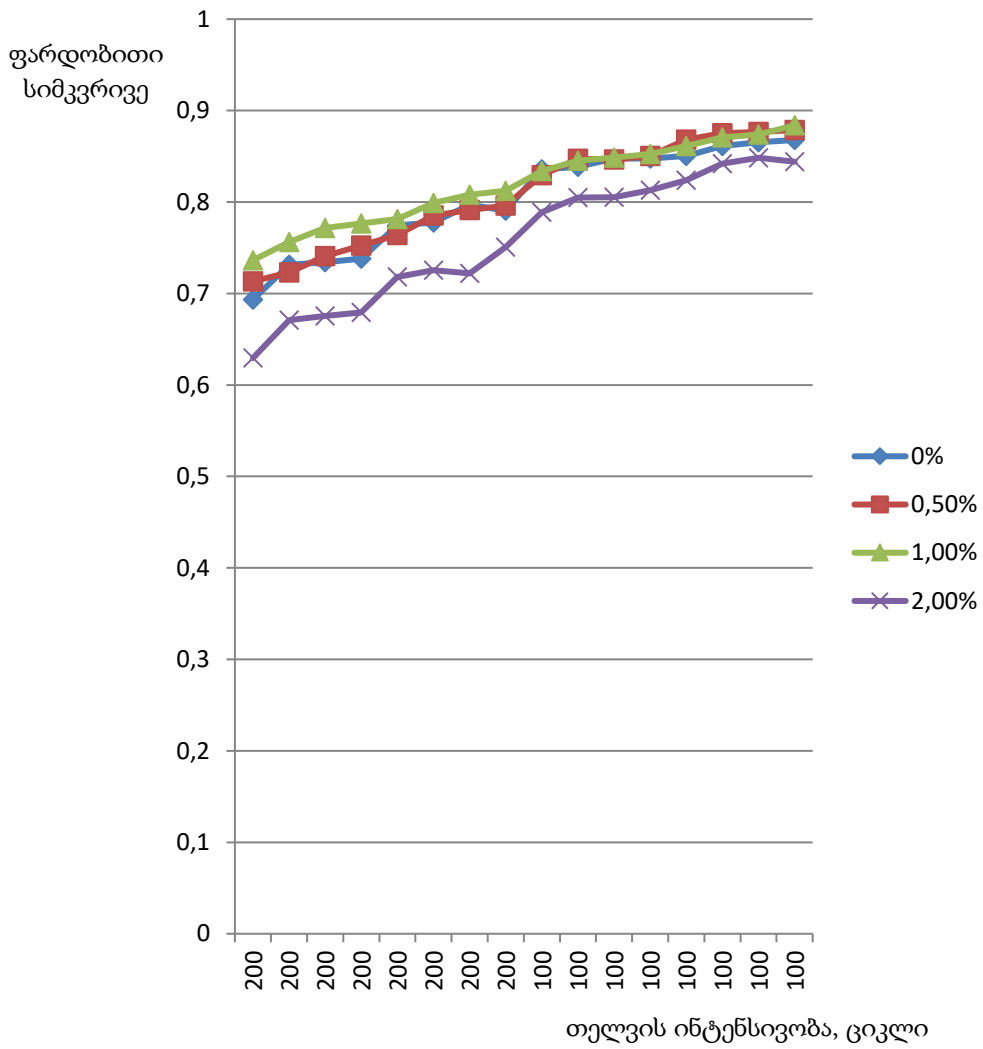
a 3		b 3			სიმჭიდროვ ე მგ/სმ	შეკლება 3	
2	საშუალო	1	2	საშუალო			
15,5	15,25	15,5	16	15,75	97,1463267	-0,859265137	0,002086
17	16,75	14	14,5	14,25	97,7568299	-0,860144043	0,006324
17	16,75	14,5	15	14,75	94,443039	-0,855236816	0,005085
16	15,5	14	14,5	14,25	105,640445	-0,870581055	-0,0626
15,5	15,25	16,5	17	16,75	91,346546	-0,85032959	0,033898
16	16	15,5	16	15,75	92,5925926	-0,85234375	0,033846
15	14,75	15	15,5	15,25	103,732518	-0,868200684	0,033898
17	16,75	14,5	15	14,75	94,443039	-0,855236816	0
16	15,75	15,5	15,5	15,5	95,5794504	-0,856958008	-0,03125
15,5	15,25	14	14,5	14,25	107,372256	-0,872668457	-0,0339
15	14,75	15,5	16	15,75	100,439422	-0,863879395	-0,01406
15,5	15,25	15	15,5	15,25	100,331452	-0,86373291	0
17	16,75	14,5	14,5	14,5	96,0713673	-0,85769043	-0,03333
16	16,25	16,5	16	16,25	88,3629191	-0,845275879	0
16	16	15	15,5	15,25	95,6284153	-0,85703125	-0,10356
14	14,25	16	16	16	102,339181	-0,86640625	-0,01538
16	15,75	15,5	16	15,75	94,0623163	-0,854650879	0,001009
16	16	15,5	15	15,25	95,6284153	-0,85703125	-0,00051
15,5	15,75	14	14	14	105,820106	-0,870800781	-0,03289
16	16	15,5	16	15,75	92,5925926	-0,85234375	0,016898
15,5	15,5	15,5	15	15,25	98,7132029	-0,861499023	0
14	14,25	15,5	16	15,75	103,963613	-0,868493652	-0,01724
15,5	15,25	15,5	16	15,75	97,1463267	-0,859265137	-0,01613
16	15,75	15	15,5	15,25	97,1463267	-0,859265137	0,016667
17	16,75	16,5	17	16,75	83,1662583	-0,83560791	-0,10667
	17,5			15,75	84,6560847	-0,838500977	
18		16	15,5				0,001817
	16			16,25	89,7435897	-0,84765625	
16		16	16,5				-0,04478
16,5	16,25	16,5	15,5	16	89,7435897	-0,84765625	-0,0303
						მოცულობის შეკლება	ფართობის შეკლება თელვის დაწყები დან

a 4			b 4			სიმჭიდროვ ე მგ/სმ	შეკლება 4	
1	2	საშუალო	1	2	საშუალო			
15,5	16	15,75	15	15	15	118,518519	-88,4644	-0,01434
14,5	15	14,75	16,5	17	16,75	113,331647	-87,9364	-34,3502
15,5	16	15,75	16,5	17	16,75	106,135987	-87,1185	-34,0307
14,5	15	14,75	14,5	15	14,75	128,69865	-89,3768	-34,9128
16,5	17	16,75	15	15	15	111,442786	-87,7319	-34,2703
15,5	16	15,75	15,5	16	15,75	112,87478	-87,8876	-34,3311
15,5	15	15,25	14,5	15	14,75	124,479022	-89,0167	-34,7722
14,5	15	14,75	15	16,5	15,75	120,527307	-88,6566	-34,6315
15,5	15	15,25	15,5	16	15,75	116,575592	-88,2721	-34,4813
14	14,5	14,25	14,5	15	14,75	133,214392	-89,7369	-35,0535
16	16	15	14	14,5	18	103,703704	-86,8164	-33,9127
15,5	15,5	15,5	15	15,5	15,25	118,455843	-88,4583	-34,554
14	15	14,5	16	16,5	16,25	118,832891	-88,4949	-34,5683
15,5	16	15,75	16	16,5	16,25	109,401709	-87,5031	-34,1809
15,5	16	15,75	15,5	16	15,75	112,87478	-87,8876	-34,3311
16	16	16	14,5	14	14,25	122,807018	-88,8672	-34,7137
16	16,5	16,25	15	16	15,5	111,166253	-87,7014	-34,2584
16	15,5	15,75	15,5	15,5	15,5	114,695341	-88,0798	-34,4062
14	14	14	15,5	16	15,75	126,984127	-89,2334	-34,8568
15,5	16	15,75	15,5	16	15,75	112,87478	-87,8876	-34,3311
15,5	15,5	15,5	15	15	15	120,430108	-88,6475	-34,6279
15,5	16	15,75	14	14	14	126,984127	-89,2334	-34,8568
15	15,5	15,25	15	15,5	15,25	120,397743	-88,6444	-34,6267
15,5	15	15,25	15	15,5	15,25	120,397743	-88,6444	-34,6267
17	18	17,5	16,5	17	16,75	95,5223881	-85,6873	-33,4716
		16,25			17	101,357466		
16,5	16		17	17			-86,5112	-33,7934
		16,75			16	104,477612		
16,5	17		16	16			-86,9141	-33,9508
16,5	17	16,75	15,5	16	15,75	106,135987	-87,1185	-34,0307
							მოცულობის შეკლება	ფართობის შეკლება თელვის დაწევიდან

მოდული A წინასწარ დამუშავებული შალი								
	0%	0,50%	1,00%	2,00%	0%	0,50%	1,00%	2,00%
9,76	31,84	34,87	37,83	27,34	0,693467	0,720103	0,742004	0,643014
9,76	36,34	35,84	40,07	29,65	0,731425	0,727679	0,756426	0,670826
9,76	36,73	38,48	42,76	30,07	0,734277	0,746362	0,771749	0,675424
9,76	37,29	38,46	43,67	30,45	0,738268	0,74623	0,776506	0,679475
9,76	43,26	40,95	44,65	34,65	0,774387	0,761661	0,781411	0,718326
9,76	43,91	46,62	48,58	35,56	0,777727	0,790648	0,799094	0,725534
9,76	48,1	47,44	50,85	35,1	0,797089	0,794266	0,808063	0,721937
9,76	46,62	47,38	52,02	39,17	0,790648	0,794006	0,81238	0,75083
9,76	59,4	58,12	58,84	46,2	0,83569	0,832072	0,834126	0,788745
9,76	60,46	63,35	62,99	50,05	0,838571	0,845935	0,845055	0,804995
9,76	64,1	65,1	64,46	50,12	0,847738	0,850077	0,848588	0,805267
9,76	64,1	64,13	66,11	52,18	0,847738	0,847809	0,852367	0,812955
9,76	65,23	75,75	68,43	55,44	0,850376	0,871155	0,857372	0,823954
9,76	70,39	78,2	73,49	61,77	0,861344	0,875192	0,867193	0,841994
9,76	72,62	78,14	74,38	64,38	0,865602	0,875096	0,868782	0,8484
9,76	73,81	79,48	84,07	72,59	0,867769	0,877202	0,883906	0,865546
	0%	0,50%	1,00%	2,00%				
200	0,693467	0,720103	0,742004	0,643014				
200	0,731425	0,727679	0,756426	0,670826				
200	0,734277	0,746362	0,771749	0,675424				
200	0,738268	0,74623	0,776506	0,679475		A		
200	0,774387	0,761661	0,781411	0,718326				
200	0,777727	0,790648	0,799094	0,725534				
200	0,797089	0,794266	0,808063	0,721937				
200	0,790648	0,794006	0,81238	0,75083				
100	0,83569	0,832072	0,834126	0,788745				
100	0,838571	0,845935	0,845055	0,804995				
100	0,847738	0,850077	0,848588	0,805267				
100	0,847738	0,847809	0,852367	0,812955				
100	0,856954	0,871155	0,857372	0,823954				
100	0,859346	0,875192	0,867193	0,841994				
100	0,863725	0,875096	0,868782	0,8484				
100	0,865952	0,877202	0,883906	0,865546				

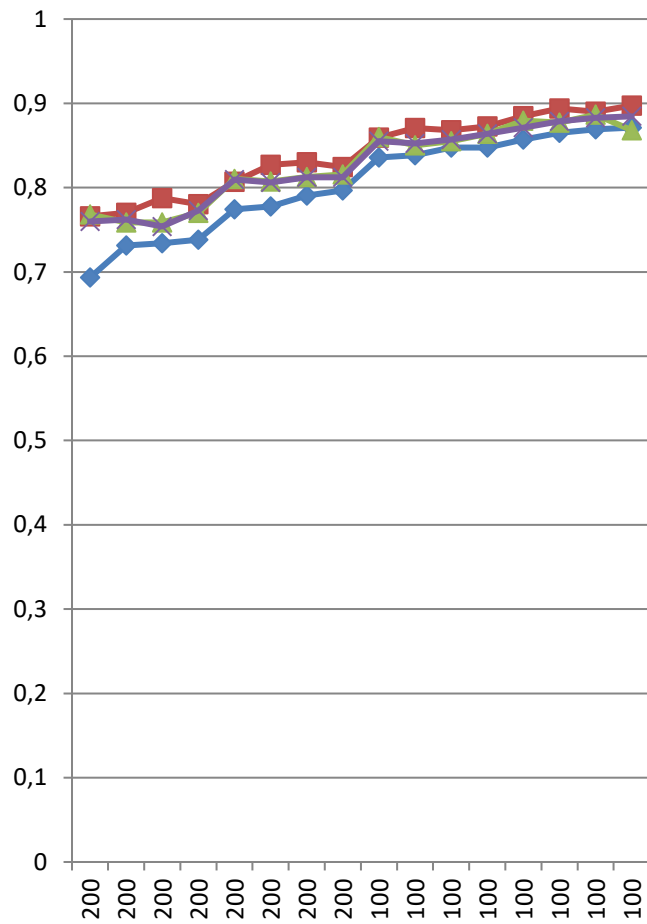








ფარდობითი  
სიმკვრივე

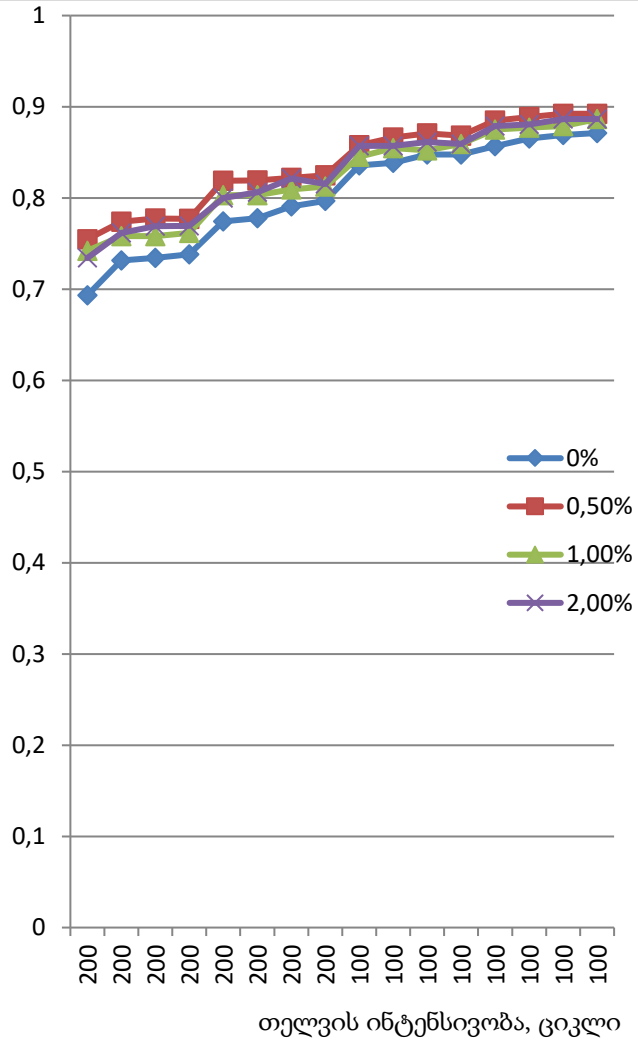


თელვის ინტენსივობა, ციკლი





ფარდობითი  
სიმკვრივე



მოდულიკატორში A წინასწარ დამუშავებული შალი								
	X (1)	X(2)	b	a	d	Ȳ		
4,5	1	1	0,32	12	9	130,2083	130,2083	130,2083
4,5	1	-1	0,28	13	10	123,6264	123,6264	123,6264
4,5	-1	1	0,33	12	9	126,2626	126,2626	126,2626
4,5	-1	-1	0,28	12,5	10,5	122,449	122,449	122,449
4,5	-1,414	0	0,3	12,5	10,5	114,2857	228,5024	0
4,5	1,414	0	0,3	13,5	10	111,1111	222,1551	0
4,5	0	-1,414	0,29	13	9,5	125,6457	0	251,2155
4,5	0	1,414	0,34	12,5	9	117,6471	0	235,2231
4,5	0	0	0,34	13	9	113,1222	0	0
4,5	0	0	0,31	12	9,5	127,3345	0	0
4,5	0	0	0,31	12,5	9,5	122,2411	0	0
4,5	0	0	0,32	12,5	9,5	118,4211	0	0
4,5	0	0	0,3	12,5	10	120	0	0
						1572,355	953,2038	988,9848
						314,4709		194,2189
						601,1188		
						120,2238		

	X(1)	X(2)	Y					
	-1,412	-1,412	21,94651					
	-1,412	-1	38,28614					
	-1,412	0	66,79061					
	-1,412	1	79,49509					
	-1,412	1,412	80,13356					
	-1	-1,412	41,86122					
	-1	-1	58,66434					
	-1	0	88,2938					
	-1	1	102,1233					
	-1	1,412	103,2252					
	0	-1,412	69,9357					
	0	-1	87,8638					
	0	0	120,2238					
	0	1	136,7838					
	0	1,412	139,0107					
	1	-1,412	69,31018					
	1	-1	88,36326					
	1	0	123,4538					
	1	1	142,7443					
	1	1,412	146,0963					
	1,412	-1,412	60,70444					
	1,412	-1	80,22101					
	1,412	0	116,4365					
	1,412	1	136,8521					
	1,412	1,412	140,6675					







მოდულიკატორში A წინასწარ დამუშავებული შალი								
	X (1)	X(2)	b	a	d	Y		
4,4	1	1	0,2	14	11	142,8571	142,8571	142,8571
4,4	1	-1	0,3	13	11	102,5641	102,5641	102,5641
4,4	-1	1	0,22	13	11	139,8601	139,8601	139,8601
4,4	-1	-1	0,35	13,5	11	84,65608	84,65608	84,65608
4,4	-1,414	0	0,28	13,5	13	89,54009	179,0261	0
4,4	1,414	0	0,15	13	10	225,641	451,1458	0
4,4	0	-1,414	0,25	14	11	114,2857	0	228,5024
4,4	0	1,414	0,1	12,5	10	352	0	703,7874
4,4	0	0	0,25	13	10,5	128,9377	0	0
4,4	0	0	0,25	13,5	11,5	113,3655	0	0
4,4	0	0	0,24	13	10	141,0256	0	0
4,4	0	0	0,27	13,5	10	120,7133	0	0
4,4	0	0	0,28	12,5	10	125,7143	0	0
						1881,161	1100,109	1402,227
						376,2322		250,2337
						629,7565		
						125,9513		

	X(1)	X(2)	Y				
	-1,412	-1,412	4,299664				
	-1,412	-1	28,58225				-1,412
	-1,412	0	72,89225				-1
	-1,412	1	96,48225				0
	-1,412	1,412	100,1745				1
	-1	-1,412	25,89741				1,412
	-1	-1	50,18				
	-1	0	94,49				
	-1	1	118,08				
	-1	1,412	121,7722				
	0	-1,412	57,40741				
	0	-1	81,69				
	0	0	126				
	0	1	149,59				
	0	1,412	153,2822				
	1	-1,412	59,29741				
	1	-1	83,58				
	1	0	127,89				
	1	1	151,48				
	1	1,412	155,1722				
	1,412	-1,412	51,46046				
	1,412	-1	75,74305				
	1,412	0	120,0531				
	1,412	1	143,6431				
	1,412	1,412	147,3353				

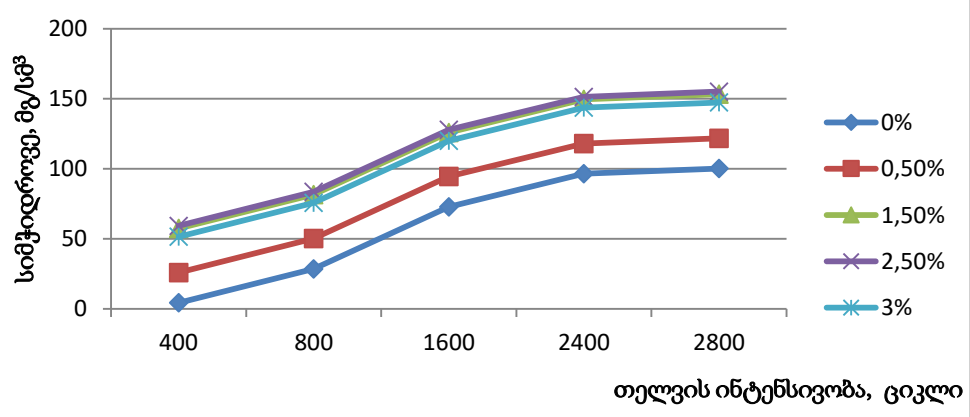






166,6564	13,12255
2116,536	

არეკვლის ზედაპირის კვეთა  
 მოდიფიკატორის B კონცენტრაციის  
 ჭრილში (თელვამდე დამუშავება)



მოდულიკატორში A წინასწარ დამუშავებული შალი								
	X (1)	X(2)	b	a	d	Ȳ		
4,5	1	1	0,3	13	11	104,8951	104,8951	104,8951
4,5	1	-1	0,26	12,5	10	138,4615	138,4615	138,4615
4,5	-1	1	0,32	12,5	9,5	118,4211	118,4211	118,4211
4,5	-1	-1	0,6	13,5	11	50,50505	50,50505	50,50505
4,5	-1,414	0	0,6	13,5	11,5	48,30918	96,58918	0
4,5	1,414	0	0,4	13,5	9,5	87,7193	175,3856	0
4,5	0	-1,414	0,55	13,5	10	60,60606	0	121,1755
4,5	0	1,414	0,25	12,5	9	160	0	319,9034
4,5	0	0	0,36	13	10	96,15385	0	0
4,5	0	0	0,32	12,5	10,5	107,1429	0	0
4,5	0	0	0,35	13,5	11	86,58009	0	0
4,5	0	0	0,35	13	11	89,91009	0	0
4,5	0	0	0,36	13	10	96,15385	0	0
						1244,858	684,2575	853,3616
						248,9716		153,7619
						475,9407		
						95,18815		

	X(1)	X(2)	Y					
	-1,412	-1,412	5,573582					
	-1,412	-1	21,95009					
	-1,412	0	51,25009					-1,412
	-1,412	1	65,75009					-1
	-1,412	1,412	67,41918					0
	-1	-1,412	22,72349					1
	-1	-1	39,1					1,412
	-1	0	68,4					
	-1	1	82,9					
	-1	1,412	84,56909					
	0	-1,412	49,52349					
	0	-1	65,9					
	0	0	95,2					
	0	1	109,7					
	0	1,412	111,3691					
	1	-1,412	55,32349					
	1	-1	71,7					
	1	0	101					
	1	1	115,5					
	1	1,412	117,1691					
	1,412	-1,412	51,60478					
	1,412	-1	67,98129					
	1,412	0	97,28129					
	1,412	1	111,7813					
	1,412	1,412	113,4504					







მოდულიკატორში A წინასწარ დამუშავებული შალი								
	X (1)	X(2)	b	a	d	Y		
4,4	1	1	0,3	13,5	10	108,642	108,642	108,642
4,4	1	-1	0,75	14,5	12,5	32,36782	32,36782	32,36782
4,4	-1	1	0,3	13	11,5	98,10479	98,10479	98,10479
4,4	-1	-1	1	14	10,5	29,93197	29,93197	29,93197
4,4	-1,414	0	0,5	13	11	61,53846	123,0398	0
4,4	1,414	0	0,3	14	10	104,7619	209,4605	0
4,4	0	-1,414	0,65	13,5	10,5	47,75471	0	95,48058
4,4	0	1,414	0,2	13	11	153,8462	0	307,5994
4,4	0	0	0,3	13	10,5	107,4481	0	0
4,4	0	0	0,3	13,5	10	108,642	0	0
4,4	0	0	0,35	13	10	96,7033	0	0
4,4	0	0	0,3	13,5	10,5	103,4685	0	0
4,4	0	0	0,33	13	10	102,5641	0	0
						1155,774	601,5468	672,1265
						231,1548		127,3673
						518,826		
						103,7652		

	X(1)	X(2)	Y				
	-1,412	-1,412	2,819408				
	-1,412	-1	23,0491				
	-1,412	0	64,9491				
	-1,412	1	96,6491				
	-1,412	1,412	106,7426				
	-1	-1,412	19,47031				
	-1	-1	39,7				
	-1	0	81,6				
	-1	1	113,3				-1,412
	-1	1,412	123,3935			-1,412	2,819408
	0	-1,412	41,67031			-1	23,0491
	0	-1	61,9			0	64,9491
	0	0	103,8			1	96,6491
	0	1	135,5			1,412	106,7426
	0	1,412	145,5935				
	1	-1,412	38,07031				
	1	-1	58,3				
	1	0	100,2				
	1	1	131,9				
	1	1,412	141,9935				
	1,412	-1,412	29,08261				
	1,412	-1	49,3123				
	1,412	0	91,2123				
	1,412	1	122,9123				
	1,412	1,412	133,0058				







