

ნარჩენების მართვა და უტილიზაცია

ტექსტილის ნარჩენების რეციკლირების პერსპექტივები

თამარ მოსეშვილი

tamar.moseshvili@atsu.edu.ge

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ქუთაისი, საქართველო

DOI:<https://doi.org./10.52340/atsu.2025.2.26.16>

მსოფლიოში მნიშვნელოვანი გლობალური პრობლემაა ტექსტილური ნარჩენების შეგროვების, დახარისხების და შემდგომი გადამუშავების საკითხი. ტექსტილის ინდუსტრია პლანეტის მესამე უდიდეს დამაბინძურებლად დასახელდა სურსათისა და სამშენებლო ინდუსტრიის შემდეგ. საფეიქრო მრეწველობა, მისი გრძელი ტექნოლოგიური ჯაჭვების, წყლისა და ენერგორესურსების დიდი მოხმარების გამო, გლობალური სათბურის გაზების გამოყოფის დაახლოებით 10%-ს წარმოქმნის. ბუნებრივი და ქიმიური ბოჭკოებისაგან წარმოებულ საყოფაცხოვრებო და ტექნიკურ ტექსტილზე მზარდი მოთხოვნისა და არსებული რესურსების შეზღუდული მოცულობის გათვალისწინებით, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი ხდება ნედლეულის რაციონალური გამოყენება და ტექსტილის მასალების წარმოება რეციკლირებული ბოჭკოებისგან. ტექსტილის ნარჩენების შემცირების ერთერთ გზას ცირკულარული ეკონომიკაზე გადასვლა წარმოადგენს, რომლის მიზანია ნარჩენების მინიმიზაცია და რესურსების მაქსიმალურად გამოყენება. დართვის არატრადიციული ტექნოლოგიის (ბოჭკოთა შეწებვით ნართის ფორმირება) დანერგვა მნიშვნელოვანი პროგრესი იქნება ტექსტილის ნარჩენების რეციკლირების საქმეში, ვინაიდან ეს ტექნოლოგია ნებისმიერი სიგრძის ბოჭკოებისაგან ნართის ფორმირების შესაძლებლობას იძლევა.

საკვანძო სიტყვები: ტექსტილის ნარჩენები, რეციკლირება, დაუგრეხავი ნართი

მოსახლეობის რაოდენობის ზრდამ, ცხოვრების დონის ამაღლებამ, ტექსტილის მასალების ასორტიმენტის მრავალფეროვნებამ და ტექსტილის ნაკეთობათა „სასიცოცხლო ციკლის“ შემცირებამ განაპირობა საფეიქრო ნაწარმების გლობალური მოხმარება. შეიცვალა ადამიანთა დამოკიდებულება ამ სახის ნაკეთობათა მიმართ. განსაკუთრებით ეს ეხება საყოფაცხოვრებო დანიშნულების ნაწარმებს. ტექსტილის ინდუსტრია პლანეტის მესამე უდიდეს დამაბინძურებლად დასახელდა სურსათისა და სამშენებლო ინდუსტრიის შემდეგ. ასევე, გაეროს კლიმატის ცვლილების შესახებ ანგარიშები მიუთითებს, რომ საფეიქრო მრეწველობა გლობალური

სათბურის გაზების გამოყოფის დაახლოებით 10%-ს წარმოქმნის. ამის მიზეზია გრძელი ტექნოლოგიური ჯაჭვები და ენერგორესურსების დიდი ოდენობით მოხმარება (Juanda-Labayen 2022, 2: 174–188). ტექსტილის წარმოებიდან მიღებული გამონაბოლქვის 90%-ზე მეტი საფეიქრო მრეწველობის ოთხ მიმართულებაზე მოდის: გამომყვანი წარმოება, საქსოვი წარმოება, სართავი და ქიმიური ბოჭკოების წარმოება. ტექსტილის ნარჩენებს მიეკუთვნება:

1. საწარმოო პროცესებისას წარმოქმნილი ნარჩენები (ბოჭკოების, ნართის, ძაფების, ქსოვილებისა და ტრიკოტაჟული ტილოების, სამკერვალო წარმოების გამონაჭრელებისა და ნაკუწების სახით);

2. მოხმარებული და გაცვეთილი ტექსტილის პროდუქტები. (საყოფაცხოვრებო ტექსტილი, სამრეწველო და ტექნიკური ტექსტილის ნარჩენები, რომლებიც წარმოიქმნება: სამრეწველო საწარმოებში, ტრანსპორტში, საზოგადოებრივი კვებისა და ჯანდაცვის სექტორებში, მომხმარებელთა მომსახურების ობიექტებში და ა.შ., გაცვეთილი სამუშაო ტანსაცმლის, უნიფორმების, სუფრის გადასაფარებლების, საწოლის გადასაფარებლების, თეთრეულის, ფარდების, და ა.შ. სახით).

მსოფლიოში ყოველწლიურად წარმოქმნილი დაახლოებით 150 მილიონი ტონა ტექსტილის ნარჩენიდან მხოლოდ 25% (საწარმოო ნარჩენები) ხელახლა გადამუშავდება და ბოჭკოების სახით ბრუნდება საწარმოო ციკლში, 75% ხვდება ნაგავსაყრელებზე, მხოლოდ 1% რეციკლირდება და ბრუნდება ახალი ქსოვილის სახით (Juanda-Labayen 2022, 2: 174–188). ნაგავსაყრელებზე არსებულ მდგომარეობას ისიც ამძიმებს, რომ ქიმიური ბოჭკოვანი მასალების უმრავლესობა არადეგრადირებადია და მათი დესტრუქციისათვის ასეული წლებია საჭირო.

ტექსტილის ნარჩენები შეიძლება დაიყოს ოთხ მთავარ ჯგუფად:

1. სართავი წარმოების ნარჩენები, რომლებიც ხასიათდება მაღალი ხარისხით. ასეთი ნარჩენები საწარმოშივე გადამუშავდება ბოჭკოვანი ნაბრუნის სახით სპეციალური მანქანა-დანადგარების გამოყენების გარეშე.

2. ტექსტილის წარმოების ნარჩენები, რომელთა გადამუშავება შეუძლებელია იმ საწარმოებში, სადაც ისინი წარმოიქმნება და ექვემდებარება სპეციალურ ქარხნებში გაგზავნას მეორად ნედლეულად გამომუშავებისთვის. ასეთია საქსოვ, ტრიკოტაჟულ და სამკერვალო წარმოებაში წარმოქმნილი ნარჩენები ნაწყვეტი ძაფების ან გამოჭრისას მიღებული თარგთაშორისი ამონაცვენების სახით.

თ. მოსეშვილი

3. წარმოებისა და მოხმარების შედეგად მიღებული ტექსტილის ნარჩენები, რომელთა გადამუშავება პროდუქტებად შეუძლებელია. ისინი ყველაზე ხშირად გამოიყენება როგორც საწმენდი მასალა, ან უბრალოდ ნაგავსაყრელებზე იყრება ან იწვება.

4. წარმოების დაბალი ხარისხის ნარჩენები, რომლებიც პრაქტიკულად უვარგისია ტექსტილის პროდუქტების დასამზადებლად. ამ ჯგუფში ასევე შედის სამრეწველო ფილტრები, რომლებმაც მიაღწიეს თავიანთი მომსახურების ვადის ამოწურვას და რომელთა გაწმენდა და აღდგენა ეკონომიკურად გაუმართლებელია. ამ ჯგუფის ნარჩენები ყველაზე ხშირად იყრება ნაგავსაყრელებზე ან იწვება (Mehrddad Seifali Abbas-Abadi 2025, 628).

ტექსტილური ნარჩენების შემცირების ერთერთ გზას ცირკულარული ეკონომიკაზე გადასვლა წარმოადგენს. ის გულისხმობს პროდუქციის წარმოებისა და მოხმარების ახლებურ, თანამედროვე ხედვას, რომლის მიზანია ნარჩენების მინიმიზაცია და რესურსების მაქსიმალურად გამოყენება. ამ ახლებურ ხედვაში მნიშვნელოვანია ე.წ. 3R პრინციპი, რომელიც მოიცავს სამ მიმართულებას: Reduce - პროდუქციის არამიზნობრივად გამოყენებისა და მისი ნარჩენებად გადაქცევის მაქსიმალურად შემცირება, Reuse - ნებისმიერი პროდუქტის ღირებული/ფუნქციური შემადგენელი ნაწილის მაქსიმალურად გამოყენება, Recycle - ნარჩენების გადამუშავება, მეორად ნედლეულად გადაქცევა და ხელახლა გამოყენება. ტექსტილის ნარჩენების რეციკლირება ითვალისწინებს მათ ხელახალ გამოყენებას მეორადი ნედლეულის სახით, რაც ზოგავს რესურსს და ამცირებს გარემოზე მავნე ზემოქმედების უარყოფით შედეგებს (ბაზლიძე 2022).

დღეს თეორიულად შესაძლებელია არსებული ტექსტილური ნარჩენების 85%-ის რეციკლირება და მისი, როგორც ახალი სახის ნედლეულის, ხელახლა გამოყენება (Мосешвили 2022, 20-28). სამწუხაროდ, ტექსტილური ნარჩენების შეგროვებისა და ბოჭკოვანი შემადგენლობის მიხედვით დახარისხების ინფრასტრუქტურა, მათი რეციკლირება მწვავე პრობლემად რჩება (Circular Economy ... 2020).

ექსპლოატაციის შემდგომი ტექსტილის შეგროვება და მისი გადამუშავება მოიცავს ორ ძირითად მიმართულებას: მექანიკურ და ქიმიურ გადამუშავებას. თითოეულ მათგანს აქვს საკუთარი უპირატესობები და სირთულეები. შესაბამისი მეთოდის არჩევანი დამოკიდებულია ბოჭკოს

ტიპზე და საბოლოო პროდუქტის სასურველ ხარისხზე (Mehrddad Seifali Abbas-Abadi 2025, 628).

გამოყენებული ტექსტილის ქიმიური გზით რეციკლირება ბოჭკოების ფორმირების ალტერნატიული გზაა. ამ პროცესში ბოჭკოების მოლეკულები დეპოლიმერიზაციის გზით მონომერებად იშლებიან, საიდანაც შემდეგ ახალი მასალების იდენტური პოლიმერები სინთეზირდება. ეს მეთოდი ძირითადად გამოიყენება პოლიესტერის, ნეილონის და ცელულოზის ბაზაზე დამზადებული ბოჭკოების გადამუშავებისას. ის საშუალებას იძლევა მივიღოთ მაღალი ხარისხის პოლიმერული მასალები, რომლებიც თვისებებით ახლოს არიან პირველადთან და ბოჭკოებად ფორმირებულები ვარგისი არიან დასართავად. ეს მიდგომა საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ რეციკლირებული ბოჭკოები კარგი ფიზიკური და მექანიკური მახასიათებლებით.

ტექნოლოგიური პროცესის სირთულის მიუხედავად, ბოჭკოების და საბოლოო პროდუქტის ხარისხი ხშირად ამართლებს რეციკლირების პროცესის მაღალ მატერიალურ და ენერგო დახარჯებს. სამწუხაროდ, ქიმიური გზით რეციკლირების მნიშვნელოვან პრობლემად რჩება ბოჭკოვანი ნარეგებისაგან ფორმირებული ტექსტილის ნარჩენების გადამუშავება, ვინაიდან ნარეგის თითოეული კომპონენტი განსხვავდება ფიზიკური და ქიმიური თვისებებით, რაც ართულებს მათგან ერთგვაროვანი სართავი ხსნარის მიღებას და ბოჭკოს ფორმირების პროცესს.

მექანიკური გადამუშავება გულისხმობს ტექსტილის ნარჩენის ფიზიკურ რღვევას, მექანიკურ დაქუცმაცებას, ანუ მის დაშლას ცალკეულ ბოჭკოებად, მათ გაწმენდას მტვრისა და მინარეგებისაგან. თუმცა, მექანიკური დამუშავების დროს ხდება ბოჭკოების დაზიანება - წყვეტა. ეს მეთოდი განსაკუთრებით ეფექტურია ნატურალური და შტაპელური ქიმიური ბოჭკოების რეციკლირებისათვის, ვინაიდან შესაძლებელია მათი დამოუკიდებლად გამოყენება ან შერევა სტანდარტულ ბოჭკოებთან. მექანიკური მეთოდით მიღებული რეციკლირებული ბოჭკოები გამოიყენება სხვადასხვა დანიშნულების საყოფაცხოვრებო და ტექნიკური ტექსტილის წარმოებისათვის.

ქიმიურ მეთოდთან შედარებით მექანიკური მეთოდი როგორც ეკონომიკურად, ასევე ეკოლოგიური თვალსაზრისითაც მომგებიანია, ნაკლებად ახდენს უარყოფით გავლენას გარემოზე. სამწუხაროდ, სტანდარტული ბოჭკოებისაგან განსხვავებით, რეციკლირებულ ბოჭკოებს ძალზე მა-

თ. მოსემვილი

ღალი აქვთ უთანაბრობა სიგრძის მიხედვით, რაც აძნელებს მათ გადამუშავებას სართავ წარმოებაში. მათ ძირითადად ტექნიკური დანიშნულების უქსოვადი საფეიქრო მასალების დასამზადებლად გამოიყენებენ.

ტექსტილური ნარჩენების ქიმიური და მექანიკური გზით რეციკლირების პროცესების ძირითადი მახასიათებლები მოყვანილია 1-ელ ცხრილში.

ცხრილი 1. ტექსტილური ნარჩენების რეციკლირების პროცესების ძირითადი მახასიათებლები

კრიტერიუმი	მექანიკური გადამუშავება	ქიმიური გადამუშავება
გადამუშავების პრინციპი	ტექსტილის ნარჩენების მექანიკური დაქუცმაცება, დაწეწვა და მათგან ბოჭკოების ხელახალი გამოყოფა	პოლიმერების ქიმიური დაშლა მონომერებად
გამოსაყენებელი მასალები	შედგენილობის მხრივ ერთგვაროვანი და არაერთგვაროვანი ტექსტილური ნარჩენები: ბოჭკოები და მათი ნარევიები, სხვადასხვა სახის ტექსტილური ნაწარმების ნარჩენები	ქიმიური ბოჭკოები, მათგან წარმოებული ტექსტილური მასალების ნარჩენები
მიღებული პროდუქტის სახე	მეორადი ბოჭკო	ახალი პოლიმერები, ბოჭკოები, ნედლეული ახალი ტექსტილისთვის
მიღებული ბოჭკოს ხარისხი, (სიგრძე)	დაბალი ან საშუალო (ბოჭკო მოკლდება მექანიკური ზემოქმედების შედეგად)	მაღალი ხარისხის, ახლოს პირველადი ნედლეულის ხარისხთან
გამოყენების სფეროები	ტექნიკური ქსოვილები და უქსოვადი ტექსტილური მასალები: საიზოლაციო მასალები, ფილტრები, ხალიჩები, შემავსებლები და სხვა	ტანსაცმელი, მაღალი ხარისხის საყოფაცხოვრებო და ტექნიკური ტექსტილი
ენერგო რესურსების მოხმარება	შედარებით დაბალი	მაღალი
გარემოზე უარყოფითი ზემოქმედება	ნაკლები, (შესაძლებელია მტვრის წარმოქმნა)	მაღალი რისკი არასწორი მართვის შემთხვევაში
ტექნოლოგიური სირთულე	მარტივი და კარგად დამკვიდრებული ტექნოლოგიური პროცესები	რთული. არის მაღალი ტექნოლოგიის გამოყენების საჭიროება

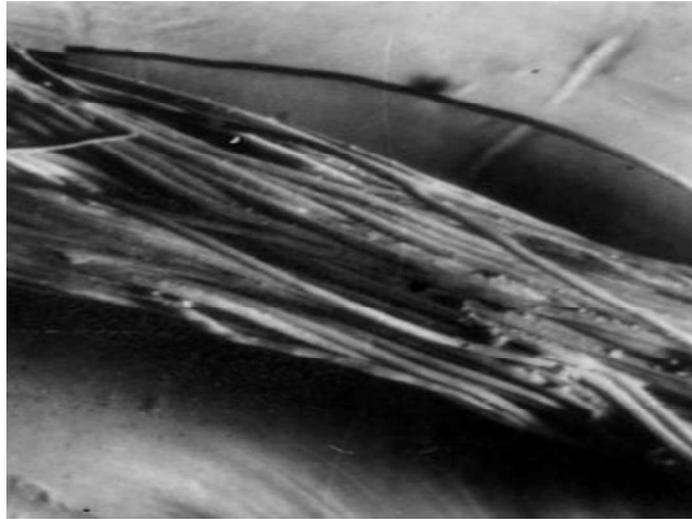
ღირებულება	დაბალი	მაღალი
ცირკულარული ეკონომიკის პოტენციალი	საშუალო	მაღალი

რეციკლირებული ბოჭკოების დართვა სპეციფიკურ მიდგომებს საჭიროებს. შედარებით გრძელი რეციკლირებული ბოჭკოები როგორც დამოუკიდებლად, ასევე სხვა ბოჭკოებთან ერთად ნარევეში .ე.წ. მეორადი დართვის ტექნოლოგიით ნართად ფორმირდება. მათგან იქსოვება საყოფაცხოვრებო და ტექნიკური ტექსტილი, (მაგალითად, ფართოდ გამოიყენება რეციკლირებული პოლიესტერის და ბამბის ბოჭკოთა ნარევი (60% ბამბა, 40% რეციკლირებული პოლიესტერი) ფორმირებული ნართი.

რეციკლირებული ბოჭკოების დართვა ძირითადად ხორციელდება რგოლებიანი და პნევმომექანიკური დართვის ტექნოლოგიებით, თუმცა ბოჭკოთა სიგრძის მიხედვით დიდი უთანაბრობის გამო ნართის ფორმირების პროცესი ძალზე არასტაბილურია, მაღალია წყვეტიანობა. ამიტომ რეციკლირებული ბოჭკოების სრულფასოვნად გამოყენება და მათგან ნართის გამომუშავება მოითხოვს ახალი ტექნოლოგიების განვითარებას და დანერგვას.

რეციკლირებული, სიგრძის მიხედვით მაღალი უთანაბრობის მქონე ბოჭკოების დართვის მნიშვნელოვანი შესაძლებლობაა ნართის ფორმირება არატრადიციული რთვის მეთოდებით. ერთერთი ასეთი ტექნოლოგიაა ნართის ფორმირება ბოჭკოების გრეხვის გარეშე - შეწებვით, ადჰეზიური მასალების გამოყენებით. დართვის აღნიშნული ტექნოლოგია საშუალებას იძლევა ნართი მიღებული იქნას ნებისმიერი სიგრძის როგორც ნატურალური და ქიმიური ბოჭკოებისაგან, ასევე მათი ნარევებისაგან.

აღნიშნული ტექნოლოგიით ბოჭკოთა ნარევეში გარკვეული რაოდენობით შეყავთ ადჰეზიური ნივთიერება ბოჭკოს, სითხის ან გრანულის სახით. დართვის პროცესში ისინი აქტიურდებიან - ლღვებიან ან თხევადი სახით გადადიან ადჰეზიურ მდგომარეობაში. ასეთი ნართის სტრუქტურა განსხვავებულია კლასიკურისაგან. მასში ბოჭკოები ნართის ღერძის მიმართ არა მრუდწირულად, არამედ პარალელურად არიან განლაგებული და ერთმანეთთან დაკავშირებული არიან ადჰეზიური კავშირებით (ნახ.1) (Мосешвили 1986).

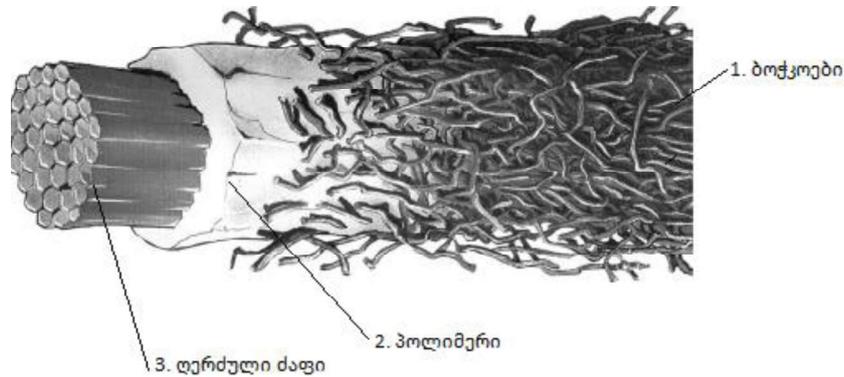


ნახ.1. ბოჭკოთა შეწებვით მიღებული ნართის სტრუქტურა.

ასეთი ნართის სიმტკიცე განპირობებულია ბოჭკოებისა და მათი შემაკავშირებელი ადჰეზიური კავშირების სიმტკიცით. ანუ, თავად ასეთი ნართი ერთგვარ კომპოზიტურ მასალას წარმოადგენს, რომელშიც ბოჭკოთაშორისი სივრცე შემწებავი ნივთიერების წერტილოვან კავშირებს უკავია. ეს კავშირები დროებითია, ვინაიდან გამოყვანის პროცესში ადჰეზივი გამოირეცხება და ქსოვილის სტრუქტურაში რჩება მხოლოდ პარალელურად განლაგებული ბოჭკოები (Moseshvili 2013, 145-149; Moseshvili 1986, 124-180).

გრეხვის ნაცვლად ადჰეზივით ბოჭკოების შეკავშირება მინიმუმამდე ამცირებს დართვის პროცესში ნართში აღძრულ დამაბულობის ძალებს. შესაბამისად მცირდება წყვეტიანობა და იზრდება რთვის სიჩქარე (Moseshvili 2013, 74-78). განსაკუთრებით ეფექტურია ამ მეთოდით ნართის მიღება მცენარეული ბოჭკოებისაგან (ბამბა, სელი, და ა.შ.), რომელთა არსებული რაოდენობა დღეს ვერ აკმაყოფილებს მსოფლიო ბაზრის მოთხოვნებს.

კანადური ფირმა „Bobtex“-ის მიერ შემოთავაზებული ინტეგრირებული კომპოზიტური ძაფის დამზადების (ICS) ტექნოლოგია საშუალებას იძლევა გადამუშავდეს 30-80 მმ სიგრძის ბოჭკოები. ამ მეთოდით (ნახ. 2) მოკლე ბოჭკოები (1) და პოლიმერი (2) ერთიანდება ექსტრუზიის ეტაპზე და ქმნიან კომპოზიტურ სტრუქტურას (ნახ. 3) (Bobkowicz 1971). მასში უწყვეტი ღერძული ძაფი (3) დაფარულია გამლღვარი პოლიმერით (2),



ნახ. 3. Bobtex" ICS ძაფის სტრუქტურა.

ბოჭკოთა შეწებვით ნართის მიღება საშუალებას იძლევა წყვეტიანობის გარეშე გადამუშავდეს ნებისმიერი სახისა და სიგრძის ბოჭკო, პროდუქციის გამოშვების სიჩქარე გაიზარდოს 1500 მ/წთ-მდე, მაგრამ სართავ მანქანაზე ერთდროულად მექანიკური, ქიმიური და თბური პროცესები მიმდინარეობს, რაც ელექტრული ენერჯის დიდ მოხმარებას მოითხოვს.

დასკვნა. ტექსტილური ნარჩენების შეგროვებისა და ბოჭკოვანი შემადგენლობის მიხედვით დახარისხების ინფრასტრუქტურა, ხელახლა გადამუშავებისა და გამოყენების საკითხი მწვავე პრობლემად რჩება. ცირკულარულ ეკონომიკაზე გადასვლა საშუალებას იძლევა მოხდეს ნარჩენების მინიმიზაცია და რესურსების მაქსიმალურად გამოყენება. ამ ახლებურ მიდგომაში მნიშვნელოვანია ნარჩენების მართვის ე.წ. 3R პრინციპი (reduce, reuse, recycle) - ნარჩენების შემცირება, ხელახლა გამოყენება და რეციკლირება.

ტექსტილის მზარდი ნარჩენების რეციკლირება და მეორადი ნედლეულის სახით გამოყენება ზოგავს რესურსს და ამცირებს გარემოზე მავნე ზემოქმედების უარყოფით შედეგებს. თეორიულად შესაძლებელია არსებული ტექსტილური ნარჩენების მაქსიმალურად რეციკლირება და მათი როგორც ახალი სახის ნედლეულის, ხელახლა გამოყენება.

რეციკლირებული ბოჭკოები სიგრძის მიხედვით დიდი უთანაბრობით ხასიათდებიან, რაც ართულებს მათგან ნართის ფორმირებას. ბამბის, პოლიესტერის, ცელულოზის შემცველი ბოჭკოებისა და მათ ნაზავებისაგან ფორმირებულ ტექსტილზე მსოფლიო ბაზარზე ყოველწლიურად მზარდ მოთხოვნას არსებული ბუნებრივი ბოჭკოების წარმოების მოცუ-

ლობა ვერ აკმაყოფილებს, ამიტომ მნიშვნელოვანია რეციკლირებული ბოჭკოვანი მასალების სართავ წარმოებაში მეტად გამოყენება.

არატრადიციული დართვის მეთოდების დანერგვა მნიშვნელოვანი პროგრესი იქნება ტექსტილის რეციკლირების საქმეში, ვინაიდან ეს იძლევა ნებისმიერი სიგრძის ბოჭკოვანი მასალისაგან ნართის ფორმირების შესაძლებლობას.

ლიტერატურა

- ბაზლიძე, ნ., შუბითიძე, ე., ლობჯანიძე, გ. 2022. „საქართველო ცირკულარული ეკონომიკის განვითარების გზაზე – მიღწევები და გამოწვევები“. *ISET ეკონომისტი* 2022. <https://iset-pi.ge/ka/blog/3169-saqartvelo-cirkularuli-ekonomikis-ganvitarebis-gzaze-mightsevebi-da-gamotsvevebi>.
- Bobkowicz, E. 1971. „The Bobtex Yarn-Making Technology: Its Future and Implications“. 1971. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/004051757104100909?justLogout=success>
- Circular Economy Action Plan*. 2020. https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en.
- Juanda-Labayen, J.P. 2022. „A review on Textile Recycling Practices and Challenges“. *Textiles*, 2022, 2, 174–188. <https://www.whitecycle-project.eu/news/a-review-on-textile-recycling-practices-and-challenges>
- Moseshvili, T., Tvalchrelidze, A., Savchuk, P. 2013. „The Mathematical Model of Strength of Yarn With Discret Parallel Fibers“. *Pro-Futuro Oswiata I nauka bez granic* 2013: 74-78. <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=622390>.
- Mehrdad, Seifali, Abbas-Abadi. 2025. „Advancing Textile Waste Recycling: Challenges and Opportunities Across Polymer and Non-Polymer Fiber Types“. *Polymers* 2025, 17 (5), 628; <https://doi.org/10.3390/polym17050628>.
- Мосешвили, Т.В. 2022. „Глобальные проблемы переработки текстильных отходов“. *Новая техника. Юго-западного федерального центра*, N30 2022.20-28.
- Мосешвили, Тамара. 1986. *Разработка технологии производства бескруточной пряжи из химических волокон и их смесей*. დისერტაცია ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატის ხარისხის მოსაპოვებლად. მოსკოვის საფეიქრო ინსტიტუტი.

Мосешвили, Т. 2013. „Исследование структуры бескруточной пряжи“. *Сборник известий - Национальная академия наук Азербайджана, Гянджинское отделение*. 2013: 145-149.

Waste Management and utilization

Perspectives on Textile Waste Recycling

Tamar Moseshvili

tamar.moseshvili@atsu.edu.ge

Akaki Tsereteli State University

Kutaisi, Georgia

DOI:<https://doi.org/10.52340/atsu.2025.2.26.16>

Collecting, sorting, and subsequent processing of textile waste are critical global challenges. Currently, the textile industry is ranked as the third-largest environmental polluter, following the food and construction sectors. The textile industry, due to its long technological chains and high consumption of water and energy resources, generates about 10% of global greenhouse gas emissions. Demand for household and technical textiles made from natural and chemical fibers is increasing every day. The limited availability of existing resources necessitates the rational use of raw materials and the production of textile materials from recycled fibers. Among the primary pathways for reducing textile waste is the transition to a circular economy, which aims to minimize waste and maximize resource efficiency. The introduction of non-traditional spinning technologies (spun yarn by bonding fibers) will be a significant step forward in textile waste recycling, as this technology allows the formation of yarn from fibers of any length.

Keywords: *Textile waste, recycling, twistless yarn*

Population growth, rising living standards, the diversification of textile product assortments, and the shortening of the textile product “life cycle” have significantly driven global textile consumption. The textile industry has been identified as the third-largest environmental polluter on the planet, following the food and construction industries. According to United Nations reports on climate change, the textile industry accounts for about 10% of total carbon emissions (Juanda-Labayen 2022, 174–188). This is largely due to long technological chains and high energy consumption.

Textile waste includes:

1. **Production Waste:** Generated during manufacturing processes, including fibers, yarns, threads, woven and knitted fabrics, as well as cuttings from garment production.

2. **Post-consumer and End-of-life Textile Products:** This includes household, industrial, and technical textile waste generated across various sectors such as manufacturing, transportation, catering, healthcare, and consumer services (includes worn-out workwear, uniforms, tablecloths, bedspreads, linens, and curtains).

Of the approximately 150 million tons of textile waste generated annually worldwide, about 75% of textile waste is disposed of in landfills, 25% is reused or recycled, and less than 1% of all textiles are recycled back into clothing (Juanda-Labayen 2022, 174–188). The environmental impact of landfills is further exacerbated by the fact that most synthetic fibers are not biodegradable and take centuries to completely decompose.

Textile waste can be categorized into four primary groups:

1. **Spinning Production Waste:** Characterized by high quality, this type of waste is reprocessed within the same facility as fibrous return material without the requirement for specialized machinery.

2. **Manufacturing Waste (Non-local Processing):** This includes waste that cannot be reprocessed at the site of origin and must be transported to specialized facilities for conversion into secondary raw materials. This category encompasses yarn remnants and inter-pattern clippings generated during weaving, knitting, and garment manufacturing processes.

3. **End-of-Life Production and Consumer Waste:** This group consists of textile waste that is unsuitable for conversion into new products. These materials are most commonly utilized as industrial wiping rags or are disposed of via landfilling or incineration.

4. **Low-Grade Industrial Waste:** This category includes materials that are practically unfit for textile product manufacturing. It also encompasses industrial filters that have reached the end of their service life and for which cleaning or restoration is economically unfeasible. Waste in this group is typically destined for landfills or incineration (Mehrdad Seifali Abbas-Abadi 2025, 628).

One of the primary pathways for reducing textile waste is the transition to a circular economy, which aims to minimize waste and maximize resource

efficiency. Central to this paradigm is the 3R principle, which comprises three strategic directions: Reduce (minimizing the improper use of products and their conversion into waste), Reuse (maximizing the utility of a product's valuable or functional components), and Recycle (processing waste to transform it into secondary raw materials for reuse). Textile waste recycling involves repurposing materials as secondary feedstock, thereby conserving resources and mitigating adverse environmental impacts (Bazlidze 2022).

Theoretically, it is **currently** possible to recycle 85% of existing textile waste and reintegrate it as a new type of raw material (Moseshvili 2022, 20-28). Unfortunately, the infrastructure for collecting and sorting textile waste based on fiber composition, as well as the recycling process itself, remains a critical challenge (Circular Economy... 2020).

Post-consumer textile collection and processing can be carried out using mechanical and chemical recycling methods. The selection of the appropriate method depends on the fiber type and the desired quality of the final product (Mehrdad Seifali Abbas-Abadi 2025, 628).

During the chemical recycling of used textiles, fiber molecules are broken down into monomers through depolymerization, from which polymers identical to the original materials are subsequently synthesized. This method is primarily utilized for processing polyester, nylon, and cellulose-based fibers. This approach enables the production of recycled fibers with high physical and mechanical properties. Despite the complexity of the technological process, the quality of the resulting fibers and final products often justifies the high material and energy costs of the recycling process. The recycling of textile waste formed from fiber blends remains a significant challenge for chemical recycling methods. Each component in the blend differs in its physical and chemical properties, which complicates the production of a homogeneous spinning solution and the fiber formation process.

Mechanical recycling involves the physical breakdown of textile waste through mechanical shredding, which disintegrates the material into individual fibers and removes dust and impurities. However, the mechanical treatment process inherently leads to fiber damage and breakage. This method is particularly effective for recycling natural and staple chemical fibers, as they can be utilized independently or blended with virgin fibers. Recycled fibers

obtained through mechanical methods are employed in the production of various household and technical textiles.

The primary characteristics of chemical and mechanical textile waste recycling processes are summarized in Table 1.

Table 1. Characteristics of the chemical and mechanical recycling processes for textile waste

Criterion	Mechanical Recycling	Chemical Recycling
Processing Principle	Mechanical shredding and carding of textile waste to recover individual fibers.	Chemical decomposition (depolymerization) of polymers into monomers.
Input Materials	Homogeneous or heterogeneous textile waste: fibers, fiber blends, and various textile product remnants.	Chemical fibers and waste from textile materials produced from them.
Output Product	Secondary (reclaimed) fibers.	New polymers, fibers, and raw materials for high-quality textiles.
Fiber Quality (Length)	Low to medium; fiber length is significantly reduced due to mechanical stress.	High quality; properties are comparable to those of virgin raw materials.
Applications	Technical fabrics and non-woven materials: insulation, filters, carpets, padding/fillers, etc.	Apparel, high-quality household textiles, and advanced technical textiles.
Energy Consumption	Relatively low	High
Environmental Impact	Minimal; potential for dust generation.	High risk if not managed correctly (due to chemical usage).
Technological Complexity	Simple; well-established technological processes.	Complex; requires advanced high-technology infrastructure.
Cost	Low.	High.
Circular Economy Potential	Moderate (primarily downcycling).	High (closed-loop recycling).

The spinning of recycled fibers requires specific technological approaches. Traditionally, these fibers are processed using ring spinning and rotor (open-end) spinning technologies. However, due to the high degree of fiber length

irregularity, the yarn formation process remains highly unstable, leading to significant breakage rates.

A potential solution to this problem is yarn formation through non-traditional spinning methods, particularly by spinning fibers without twisting by bonding them together. This technology enables the production of yarn from natural and chemical fibers of any length. With this technology, a specific amount of adhesive material is introduced into the fiber mass in the form of fibers, liquid, or granules. During the spinning process, these materials either melt or transition into a liquid adhesive state. The structure of twistless yarn differs from classical yarn. In this structure, the fibers are arranged almost parallel to the yarn axis and are interconnected through adhesive bonds (Fig. 1) (Moseshvili 1986).

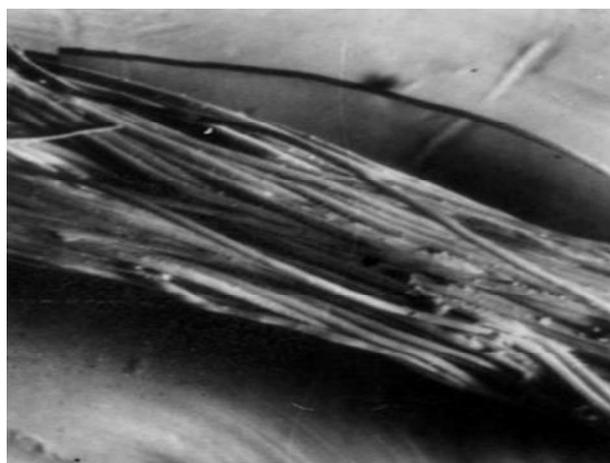


Fig. 1. Photograph of a twistless yarn.

The tensile strength of twistless yarn is determined by the individual strength of the fibers and the integrity of the adhesive bonds holding them together. The inter-fiber spaces are occupied by point-bonded adhesive connections, which are temporary. During the finishing process, the adhesive is washed out, leaving only the parallel-aligned fibers within the fabric structure (Moseshvili 2013, 145-149; Moseshvili 1986, 124-180). Bonding fibers with an adhesive minimizes the tensile stresses induced in the yarn during spinning. As a result, yarn breakage is reduced and the spinning speed is increased (Moseshvili 2013, 74-78).

The integrated composite spinning (ICS) technology, proposed by the Canadian company Bobtex, allows processing fibers with a length of 30 to 80 mm. Using this method (Fig. 2), short fibers (1) and a polymer (2) are combined during the extrusion stage to create a composite structure. The continuous core of the thread (3) is covered with a molten polymer (2), onto which an outer thin layer of fibers (1) is applied. The formation of the thread occurs continuously, which makes it possible to increase the winding speed to 500–1000 m/min.

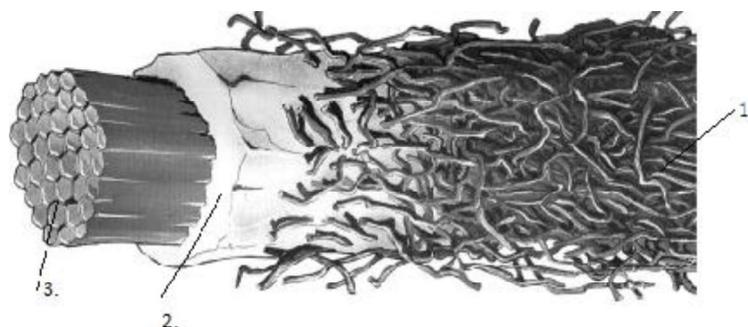


Fig. 2 Structure of an ICS thread.

The production of yarn using the fiber bonding method ensures continuous processing of any type of fiber, regardless of its length, and makes it possible to increase the production speed to 1500 m/min. However, the simultaneous integration of mechanical, chemical, and thermal processes in a spinning machine requires high energy consumption.

Conclusion. The infrastructure for collecting and sorting textile waste based on fiber composition, as well as the issues related to its reprocessing and utilization, remain critical challenges. Transitioning to a circular economy enables waste minimization and the maximization of resource efficiency. Within this innovative framework, the 3R principle (Reduce, Reuse, Recycle) of waste management is paramount.

Recycling the ever-growing volume of textile waste and utilizing it as a secondary raw material conserves resources and mitigates adverse environmental impacts. Theoretically, it is possible to maximize the recycling of existing textile waste and reintegrate it into the production cycle as a new category of feedstock.

The global annual demand for textiles consisting of cotton, polyester, cellulose fibers, and their blends continues to grow. The production volume of available natural fibers is becoming insufficient to meet market needs. Therefore, it is crucial to increase the use of recycled fibre materials in spinning production.

Recycled fibers are characterized by a high degree of length irregularity, which complicates traditional yarn formation. The implementation of non-traditional spinning methods represents a significant advancement in textile recycling, as these technologies allow the formation of yarn from fibrous materials of any length.