https://doi.org/10.53230/tgm.1310-912X.2026.0006.01

ЕКОЛОГИЧНО ПРИЛОЖЕНИЕ НА МАСТИЛЕНО-СТРУЕН ПЕЧАТ ВЪРХУ ЦЕЛУЛОЗНИ ТЪКАНИ С МИНИМАЛНА КОНСУМАЦИЯ НА ВОДА ЗА РЕАКТИВНИ БАГРИЛА

Дарина Желева[1] и Ивелин Рахнев[2]
[1]ХТМУ, кат. Текстил, кожи и горива, бул. „Кл. Охридски" №8, София, България
[2]НТС по ТОК, ул. Г. С. Раковски 108, 1000 София, България

***Резюме**:*

При производството на текстилни платове и изделия се прилагат различни видове обработки, чрез които се променят техните физико-химични свойства. Тези обработки са строго специфични при различните видове текстил. Освен прилагането на редица апретурни техники, други важни обработки включват процесите на багрене и щамповане, чрез които се получава цветното разнообразяване и десениране на платовете. Различават се няколко техники: класическо багрене, в т.нар. в багрилна баня; ротационен ситопечат, при което се полага багрилната паста върху плата посредством поредица от гравирани цилиндри и сита и цифровата техника на печатане върху плат чрез впръскване на багрилото – Ink Jet Textile Printing Technology (IJTPT).

Предмет на настоящото изследване е сравнителен анализ на класическото багрене и мастилено-струйно печатане на целулозни тъкани, с подход към нова технология на текстилно печатане посредством впръскване на багрилото върху плата и създаване на нови текстилни изделия, с екологична цел: значително намаляване консумацията на вода и енергия, количеството багрило и минимално вредно въздействие върху околната среда.

***Ключови думи:** целулозен текстил, мастилено-струен печат, реактивни багрила*

ENVIRONMENTALLY FRIENDLY APPLICATION OF INKJET PRINTING ON CELLULOSE FABRICS WITH MINIMAL WATER CONSUMPTION FOR REACTIVE DYES

Darina Zheleva[1] and Ivelin Rahnev[2]
[1]University of Chemical Technology and Metallurgy, Textiles, leathers and fuels,
Kl. Ohridski Blvd. 8, 1756 Sofia, Bulgaria
[2]SEUTGL, G. S. Rakovski 108, 1000 Sofia, Bulgaria
jelevad@uctm.edu

Abstract:

In the production of textile fabrics and products, various types of treatments are applied, through which their physicochemical properties are changed. These treatments are strictly specific for different types of textiles. In addition to the application of a number of finishing techniques, other important treatments include the dyeing and printing processes, through which the color variation and patterning of the fabrics are obtained. Several techniques are distinguished: classic dyeing, in the so-called dye bath; rotary screen printing, in which the dye paste is applied to the fabric by means of a series of engraved cylinders and screens and the digital technique of printing on fabric by spraying the dye – Ink Jet Textile Printing Technology (IJTPT).

The subject of this study is a comparative analysis of classical dyeing and inkjet printing of cellulose fabrics, with an approach to a new textile printing technology by spraying the dye onto the fabric and creating new textile products, with an ecological goal: significantly reducing water and energy consumption, the amount of dye and minimal harmful impact on the environment.

Keywords: *cellulose textiles, inkjet printing, reactive dyes*

УВОД

При производството на текстилни платове се прилагат различни видове обработки, чрез които се променят техните физико-химични свойства на текстилните материали. Един от процесите е багрене и щамповане, чрез които се получава цветното разнообразяване и десениране на платовете. Цветовото разнообразяване на платовете се постига или чрез съчетания на разноцветни текстилни нишки или чрез багрене на вече готовия плат. От своя страна, докато багренето на платовете позволява само едноцветен фон, то единствено текстилното печатане може да възпроизведе разноцветни шарки върху лицето на плата. Аналоговото текстилно печатане полага багрилната паста върху плата посредством поредица от гравирани цилиндри или фигурални сита, т.нар. ротационен ситопечат. И в двата случая, обаче, съществува ограничение както в химичния процес, който е с голям разход на вода, енергия и багрило, така и в ограниченото разнообразие от шарки. Това се дължи на механичния носител на графичната информация - сито или барабан.

От началото на 90-те години на миналие век в текстилното производство успешно навлезе цифровата техника на печатане върху плат чрез впръскване на багрилото - Ink Jet Textile Printing Technology (IJTPT) [1]. Мастилено-струйната технология за текстилно печатане използва микроскопични капчици за пряко нанасяне на багрилното мастило при отсъствие на контакт между печатащото устройство и повърхността на субстрата.

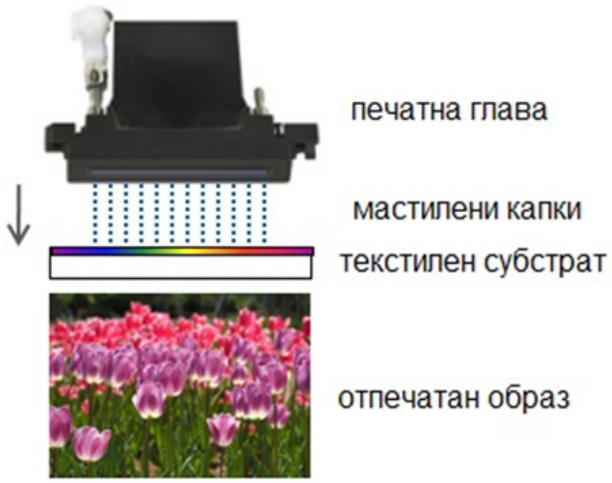
Екологично чистият мастилено-струен печат върху целулозни тъкани с реактивни багрила се фокусира върху намаляване на потреблението на вода, елиминиране на вредни спомагателни вещества и подобряване на ефективността на фиксиране на багрилата. Най-ефективните подходи комбинират предварителна обработка без урея, оптимизиран контрол на влагата и технологии за дигитален печат, които минимизират отпадъчните води [1-7].

Целта е на това научно изследване е разработване на иновативна екологична технология за текстилно печатане на целулозни тъкани с минимален разход на вода, енергия, химикали и минимален въглероден отпечатък.

МАТЕРИАЛИ И ТЕХНОЛОГИИ

Принцип на текстилното мастилено - струйно печатане (IJTPT)

Мастилено - струйната технология за текстилно печатане (IJTPT) използва микроскопични капчици за пряко нанасяне на багрилното мастило при отсъствие на контакт между печатащото устройство и повърхността на субстрата текстилна подложка (фиг.1) [8].



Фигура 1. *Техника на мастилено - струйния печат [8]*

Технологията дава възможност за безконтактно печатане, което я прави приложима за всякакви подложки (субстрати) в широк спектър от общи промишлени цели. Простата конструкция и цифровото пренасяне на информацията обединяват печатащата глава със сканиращия механизъм. В резултат от това съчетание

цифровото създаване и възпроизвеждане на образа притежава ниска себестойност и дава ниска цена на текстилните изделия. Освен това мастилено - струйните принтери предлагат големи икономии на печат, особено в сравнение с аналоговия сито - печат.

Принципът на мастилената струя се осъществява посредством микроскопични канали от пиезо-кристални материали, които се свиват под въздействието на приложен електрически заряд (фиг.2).



Фигура 2. *Симулация на капко-образуването при мастилено-струйния печат [8]*

През първата фаза на действие каналите се свиват и мастилото, съдържащо се в тях принудително е изтласкано през дюзата като микроскопична капчица. През втората фаза каналът възстановява първоначалното си състояние, капилярът пропуска мастило в канал и се зарежда за действие следващата капка. Получават се различни отпечатъци върху платове [15] (фиг.3).



Фигура 3. *Мастилено-струен дигитален печат върху целулозни платове*

Текстилните печатни мастила са разработени според най-високите световни стандарти за опазване на околната среда и човешкото здраве. Дисперсните багрила са подходящи за полиестерни и ацетатни влакна, докато реактивните са подходящи за широк спектър от субстрати, включващи памук, коприна и вълна. В таблица 1 са дадени примерните приложения на дисперсните и на реактивните текстилни багрилни мастила спрямо влакнестия състав на плата.

Таблица 1. Приложение на текстилните багрила като печатна паста върху текстилен субстрат [8]

Влакнеста суровина	**Текстилно печатно мастило**	
	Дисперсни багрила	***Реактивни багрила***
Памук	Без приложение	Отлично
Вискоза	Без приложение	Отлично
Лен	Без приложение	Отлично
Естествена коприна	Без приложение	Добро
Вълна	Без приложение	Добро
Полиамид	Без приложение	Добро
Полиестер	Отлично	Без приложение
Ацетатни влакна	Отлично	Без приложение

Технологично описание на мастилено струйното печатане върху текстилен субстрат

След предварителна подготовка, през първия етап платовете се подлагат на развиване и накатаване в широко състояние, промазване и сушене с термо фиксиране. След като платът е почистен от масла и механични частици, върху него се нанасят текстилни спомагателни средства (например, уреа) с цел последващо фиксиране на мастилото. Целта е да се осигури максимална адхезия на багрилното мастило към повърхността на влакната.

През втория етап, подготвените платове се подават към цифровата машина за мастилено-струйно щамповане, където се осъществява втория етап на обработката - мастилено - струйното печатане с реактивни багрилни мастила.

През третия етап на текстилно печатане се извършва фиксиране на багрилото към повърхността на влакната, отстраняване на излишната багрилна паста и фиксиране на окончателните размери и свойства на готовия плат. Това включва промазване на плата с химичен фиксатор, запарване, пране, сушене с термофиксиране и омекотяване, и пропарване и отпускане на готовия плат.

Създадената технологичната линия за мастиленоструен печат върху платове включва функционално и последователно свързани (фиг.4÷6) [12]:

1. входящо ролково устройство;
2. “stenter” сушилна машина за термо-фиксиране и промазване на плата;
3. цифрова машина за мастилено-струйно печатане с реактивни багрила върху целулозен

субстрат;

4. инсталация за обработване с пара;

5. пералня за надлъжно пране на печатания плат;

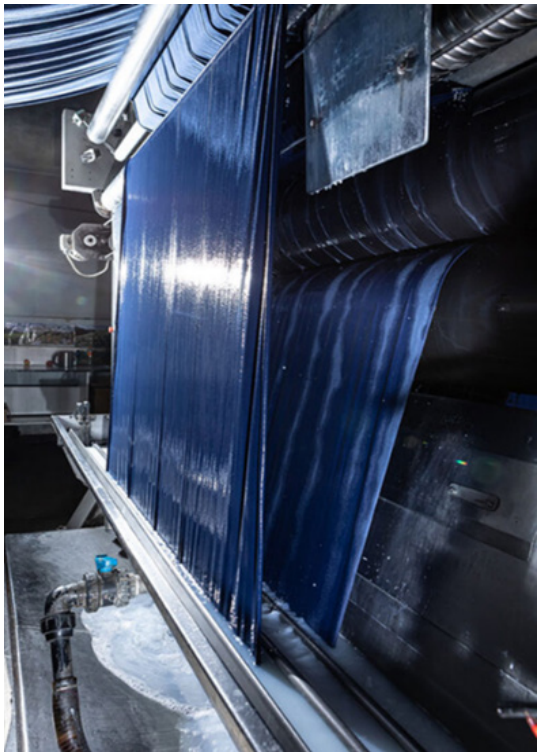
6. сушилня;

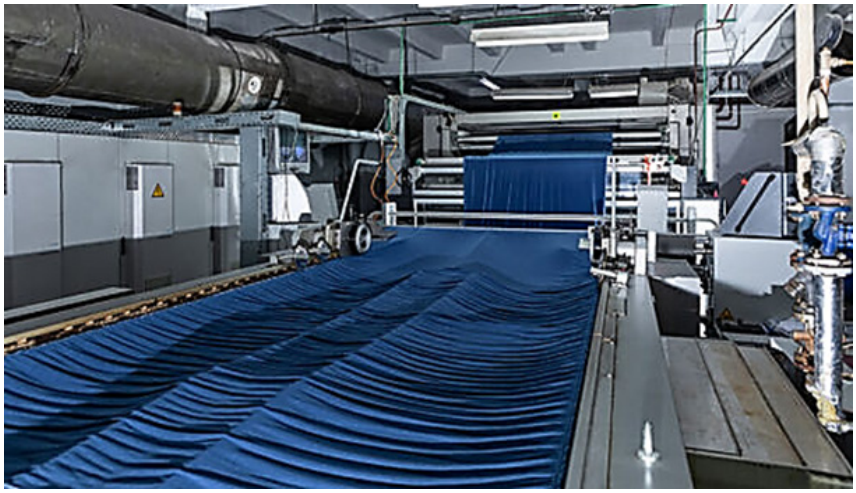
7. “stenter” сушилна машина за термо-фиксиране и омекотяване на плата;

8. машина за надлъжно пропарване и отпускане на готовия плат;

9. изходящо ролково устройство.

Предимство на създадената линия е, че осигурява устойчиво закрепване на печатното мастило към плата чрез висока прецизност на технологичните операции, като така се гарантира повишено качество и дълготрайност на отпечатаните цветни форми върху плата. Освен това, се постига оптимизация на разходите, съответно по-ниска себестойност на продукта и конкурентна цена на отпечатаните платове.





Фигура 5. *Stenter: пране и сушене*

Фигура 4. *Stenter: финиш процеси*





Фигура 6. Steam camera: *пропарване и фиксиране на реактивното багрило*

Протичащи химични реакции по време на мастилено-струен печат върху целулозни тъкани (с реактивни багрила):

Мастилено-струйният печат върху целулозни тъкани с помощта на реактивни багрила включва образуване на ковалентна връзка между реакционната група на багрилото и хидроксилните групи на целулозата при алкални условия, обикновено по време на обработка с пара или втвърдяване [13,14]. Това е единственият клас мастила, който химически реагира с целулозата.

Печатните пасти съдържат мономери, като амоняк, формалдехид, метанол, алкохоли, естери, алифатни въглеводороди, акрилати, винилацетат, стирен и акрилнитрил, и урея [1].

1. Активиране на целулоза (алкализация) преди фиксиране. При алкални условия (обикновено Na_2CO_3 или NaOH), целулозните –OH групи частично депротонират:

$$\mathbf{Cell–OH + OH^- \rightarrow Cell–O^- + H_2O}$$

Тази стъпка е от съществено значение, защото целулозният анион (Cell–O^-) е много по-силен нуклеофил от неутралната целулоза.

Уреята се използва главно за набъбване на памучни влакна по време на процеса на обработка с пара. Тя действа и като абсорбиращ влагата агент. Уреята ускорява пренасянето на багрилото върху памучните влакна, а също така намалява пожълтяването на памука при топли, сухи алкални условия [1].

2. Нуклеофилна атака върху реактивната багрилна група

Реактивните багрила съдържат електрофилни групи като:

- Монохлоротриазин (МСТ);
- Дихлоротриазин;
- Винилсулфон (сулфатоетилсулфонов прекурсор).

Тези групи претърпяват нуклеофилно заместване или нуклеофилно присъединяване с целулозата.

Пример: МСТ (монохлоротриазин) реакция:

$$\mathbf{Cell–O^- + Dye–Cl \rightarrow Cell–O–Dye + Cl^-}$$

Това е класическа SNAr реакция (нуклеофилно ароматно заместване).

Реационните групи реагират чрез нуклеофилно заместване или присъединяване с хидроксилни групи върху целулозни влакна при контролирани алкални условия.

Реактивните багрила съдържат химическа група, която реагира с йонизирани хидроксилни йони в целулозата, за да образува ковалентна връзка.

3. Реакционна система с винилсулфон (двуетапна реакция)

Винилсулфоновите багрила се отпечатват в тяхната сулфатоетилсулфонова форма, която се преобразува под действието на алкали:

Етап 1: β-Елиминиране до образуване на винилсулфон:

$$\mathbf{Dye–SO_2–CH_2–CH_2–OSO_3^- \rightarrow Dye–SO_2–CH = CH_2}$$

Етап 2: Присъединяване с целулоза:

Това е нуклеофилна реакция на присъединяване:

$$\mathbf{Cell–O^- + Dye–SO_2–CH = CH_2 \rightarrow Cell–O–CH_2–CH_2–SO_2–Dye}$$

4. Хидролиза на реактивното багрило

Реактивните багрила могат да реагират и с вода, намалявайки фиксацията:

$$\mathbf{Dye–Cl + H_2O \rightarrow Dye–OH + HCl}$$

Хидролизираното багрило не може да се свърже с целулозата и трябва да се отмие. Реакцията на фиксация се конкурира благоприятно с хидролизата на багрилото при подходящи алкални условия.

5. Фиксиране по време на обработка с пара или втвърдяване

Топлината (обикновено пара 102–105°C) ускорява:

• Дифузията на багрилото във влакното;

• Скоростта на реакцията на нуклеофилно заместване/присъединяване;

• Завършването на образуването на ковалентна връзка

Реакционните групи реагират с целулозата при повишени температури (напр. контролирана обработка с пара или втвърдяване).

6. Крайна структура на ковалентна връзка

Резултатът е постоянна ковалентна връзка багрило-влакно, обикновено:

• Етерна връзка за триазинови багрила;

• β-сулфатоетилсулфонова етерна връзка за винилсулфонови багрила.

Тази връзка придава на реактивните отпечатъци техните отличителни свойства: висока устойчивост на пране; висок добив на цвят; отлична издръжливост.

Реактивните багрила образуват силна, постоянна ковалентна връзка с целулозата.

Технологична схема: Класическо багрене vs. Мастилено струен печат [13,14]

I. Класическо багрене (пример: реактивно багрене на памук)

1. **Подготовка на суровия плат:**

Осигурява равномерно багрене и премахва примеси.

• Обезмасляване и пране;

• Премахване на апретури;

• Неутрализация при нужда.

2. **Приготвяне на багрилната вана:**

Приготвя се разтвор с багрила и химикали.

• Дозиране на реактивно багрило;

• Добавяне на електролити и алкали;

• Контрол на pH и температура.

3. Багрене:

Платът се потапя и циркулира в багрилния разтвор.

• Поддържане на температура (60–80°C);

• Контрол на време и механично движение;

• Осигуряване на равномерно проникване.

4. **Изплакване и изпиране с течен сапун:**

Премахват се незреагирали багрила и соли.

• Студено изплакване;

• Горещо пране със сапун;

• Финално изплакване.

5. **Сушене и апретура:**

Финализира се външният вид и стабилността на плата.

• Сушене в тунелна сушилня;

• Нанасяне на омекотители или функционални апретури;

• Каландриране при нужда.

II. Мастилено струен печат (пример: реактивни мастила върху памук)

1. **Предварително третиране на плата:**

Подготвя влакната за химична реакция с мастилото.

• Импрегниране с урея, алкали и сгъстител;

• Изсушаване без фиксация;

• Контрол на равномерността.

2. **Дигитален мастилено струен печат:**

Нанасяне на мастилото чрез DOD печатащи глави.

• Настройка на резолюция и профил;
• Контрол на влажност и опъване на плата;
• Печат на дизайна с реактивни мастила.

3. Фиксация чрез пропарване:

Активира химичната реакция между мастилото и целулозата.

• Пропарване 8–12 min при 102–105°C;
• Контрол на влажността в камерата;
• Избягване на конденз.

4. Пране и неутрализация:

Премахват се незреагирали мастила и химикали.

• Студено изплакване;
• Горещо пране със сапун;
• Неутрализация (оцетна или мравчена киселина).

5. Сушене и финална обработка:

Стабилизира се платът и се подобрява допирът.

• Сушене в тунелна сушилня;
• Омекотяване;
• Каландриране при нужда.

Сравнение между класическото багрене с реактивни багрила на текстилните материали и мастилено струен печат:

Цветовото разнообразяване на текстилните материали посредством класическата мокра технология се извършва по 3 начина:

- Багрене на влакна и последващо изпридане на прежди и изтъкаване или плетене на площни текстилни изделия – платове;
- Багрене на прежди и нишки и последващо изтъкаване или плетене на площни текстилни изделия – платове;
- Багрене на готови тъкани или плетени платове.

Необходимите технологични параметри за обагрянето на 1 kg текстилни материали с реактивни багрила под формата на влакна, прежди и плат са дадени в таблица 2. Данните за плата са приведени към тъкан с площна маса от 0.618 kg/m2. Класическото мокро пране изисква 5 или 6 поредни багрилни и перилни бани от по 4300 L промишлена вода [10].

Таблица 2. Технологични параметри на класическото мокро багрене

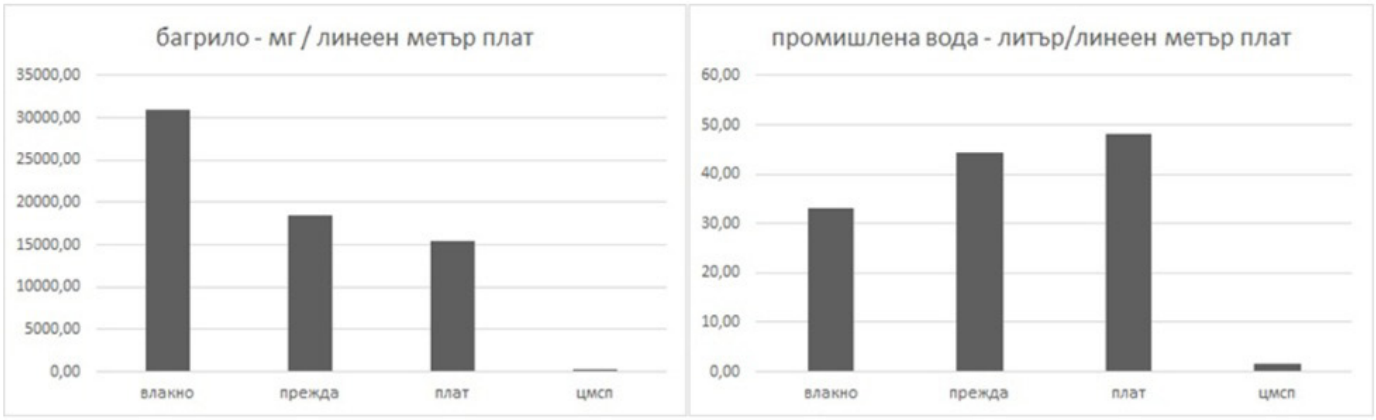
№	**Разход за 1.0 kg текстилен материал**	**Влакнеста маса, 1,000/0,618 kg**	**Прежди и коприни 1,000/0,618 kg**	**Плат, 1 m² или 0,618 kg**
1	Багрило, g	50,0 / 30,9	30,0 / 18,54	15,45
2	Промишлена вода, L	53,75 / 33,22	71,67 / 44,29	48,00
3	Водна баня, t °C	50 - 100 °C	50 - 100°C	50 - 100°C

При ширина от 142 cm платът тежи 0,618 kg. Разходът на багрилна субстанция по мастилено струйното печатане варира около 198,0 mg за 1,0 m2 плат, или 281,16 mg за 1 m2 от иновативната тъкан при ширина от 142 cm.

Багренето по цифровия метод на мастилено-струйния печат (IJTPT) изисква само 2 перилни бани и едно пропарване с общ разход от около от 1,59 L промишлена вода за 1,0 m2 плат. Сравнителните данни са дадени в табличен вид (таблица 3) и онагледени на фиг.7.

Таблица 3. Сравнителни параметри на IJTPT и мокро багрене на текстилни материали

№	Разход, 1.0 L на 1 m	Класическо мокро багрене			*IJTPT*
		Влакно	Прежда	Плат	
1	Багрило, mg	30900,00	18540,00	15450,00	281,16
2	Промишлена вода, L	33,22	44,29	48,00	1,59
3	Водна баня, t °C	50 - 100	50 - 100	50 - 100	52 - 108



Фигура 7. *Сравнителен анализ между IJTPT и мокрото багрене на текстилни материали*

Както от икономическа гледна точка на себестойността, така и от екологична гледна точка преимуществата на цифровия метод за мастилено струйно печатане IJTPT върху платове е очевидно и безспорно.

Същите преимущества могат да се посочат и при сравняване на IJTPT с аналоговия ротационен печат върху плат (таблица 4).

Таблица 4. Сравнителен анализ между IJTPT и аналоговия печат върху плат

Показател	**Аналогов ротационен печат**	**Цифров мастилено- струен печат (*IJTPT*)**
Максимален размер на повтора (рапорта) на десена	Точно определен размер, който се определя от обиколката на печатния шаблон: 64, 82, 91,4, 102, 118 cm	Няма ограничения (може да се печатат десени с повтор до 8 m) Повтора на всеки десен може да се променя без да се влагат средства за ново гравиране на шаблони
Брой цветове Печат на полутонове	При повечето машини са до 12 цвята, рядко се правят модели с 16 Ограничен от меша на шаблоните, в много случай полутоновете се виждат като точки	Няма ограничения откъм брой цветове Много плавни и детайлни преходи
Скорост на печат	До 45 m/min	До 70 m/min
Време за смяна на вариантите	Зависи от броя на шаблоните - от 15 до 40 min (включва сваляне на ракелните ножови и шаблоните от машината, измиване, монтиране отново и зареждане с печатна паста)	Времето практически е равно на нула, защото се изразява в смяна на един с друг файл за печат
Време за мостриране на десен	Определя се от времето за рапортиране и цветоотделка на десена и времето за гравиране на шаблоните – може да достигне до 10 работни дни	Определя се от времето за рапортиране на десена. В рамките на деня или на следващия ден
Минимални количества в асортимента	Много висока себестойност на продукта. Определящ фактор е цената на гравираните шаблони	При минимални количества цената е малко по-висока от цената за големи количества
Персонал	3 души на машината за печат, 1 в багрилна кухня, 1 в гравьорен цех	2 души на машината за печат
Себестойност на десените при съз-даване на колекция	Много висока поради гравирането на шаблони	Много ниска - определя се само от цената за печат
Въздействие върху околната среда	Много голямо количество на използваната вода при измиването на печатната лента, ракелните ножове, шаблоните за печат и помпите за подаване на печатна паста. Използване на химикали при гравиране на шаблоните. Използване на сгъстители и	Вода се използва само за измиване на печатната лента.

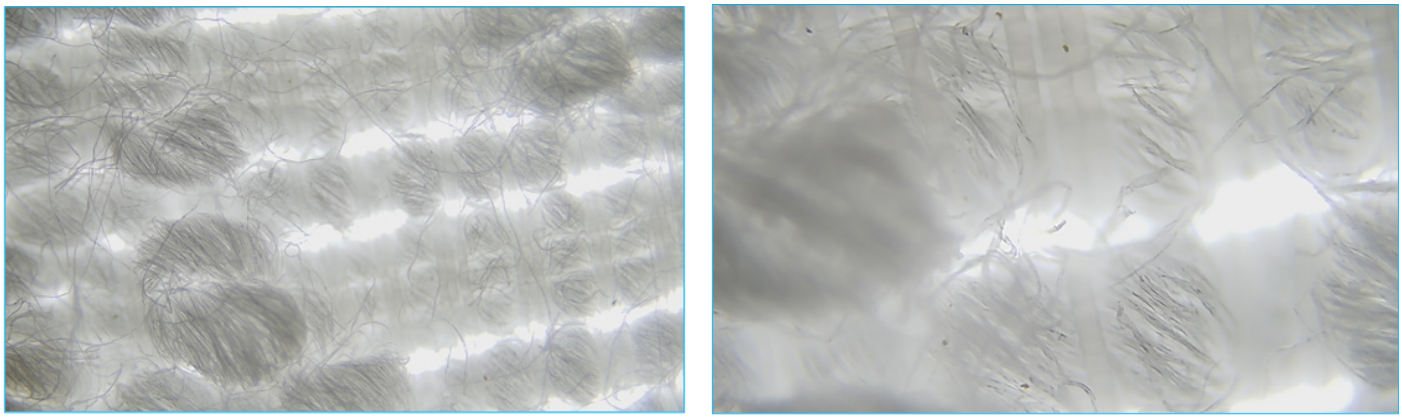
Микроскопски анализ на печатани целулозни платове с IJTPT

Използваните материали за анализ са следните:
Сурова жакардова тъкан - вид памук [16];
Влакнест състав: 79% памук; 18% полиамид; 3% еластан във вътъка;
Ширина на суровата тъкан: 145 cm;
Повърхностна маса: 190 g/m2;
Плътност на основата 900 нишки/dm, полиамидно моновлакно с плътност Tt 3.6 tex;
Плътност на вътъка 300 нишки/dm, памучна сърцевина с линейна плътност Tt 37.2 tex.

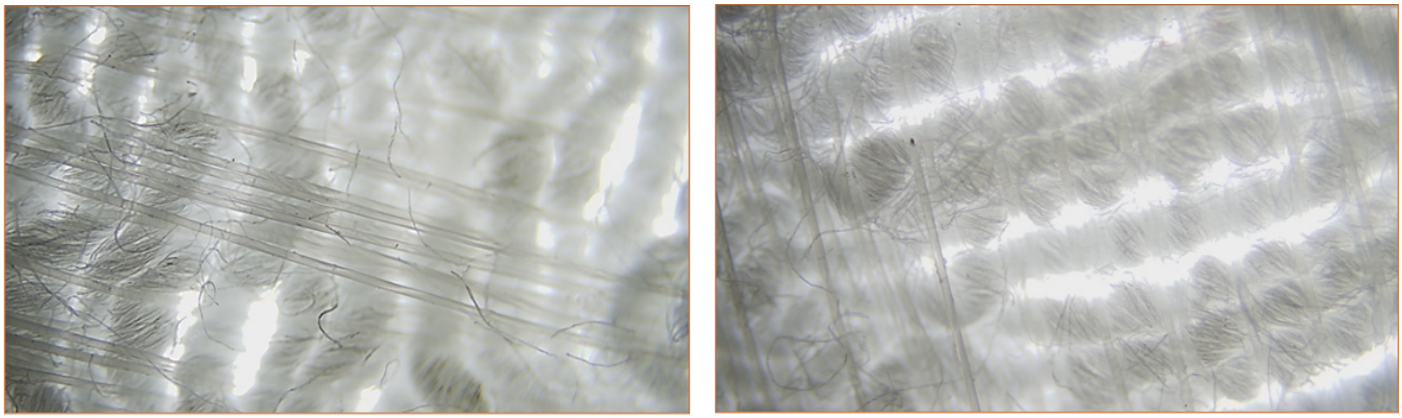
Проби от текстилната основа са подготвени в два варианта: текстилна основа преди печатане и текстилна основа след мастилено-струен печат (фиг.8÷15).

Микроскопските наблюдения са извършени с модел OPTIKA B-150V при различни увеличения, което позволява оценка както на общата структура, така и на детайли от влакнестата мрежа преди и след нанасяне на багрилото.

Микроскопски снимки: необработен плат (преди нанасяне на багрилото)

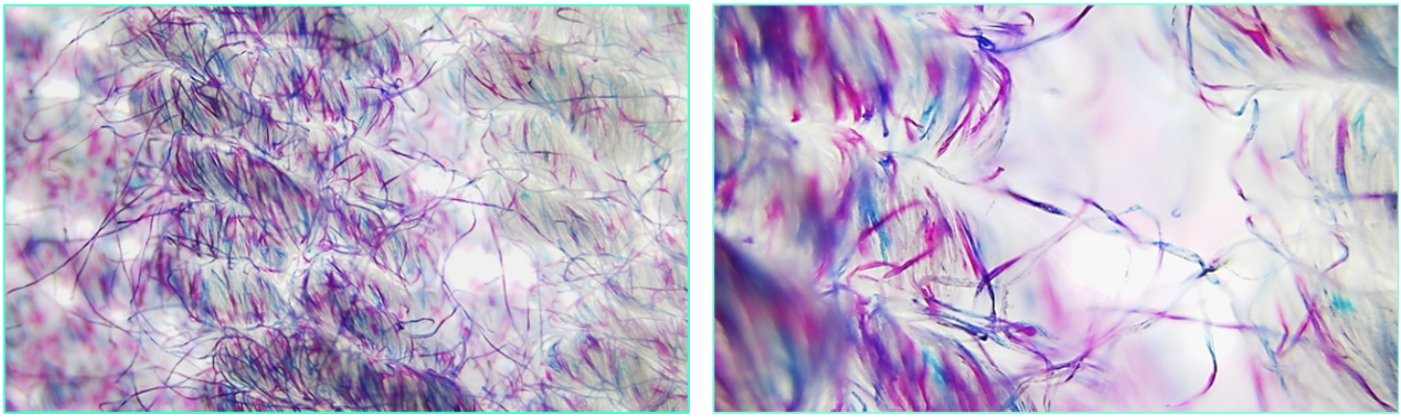


Фигура 8. *Лицева част на необагрения плат (x40; x100 увеличение)*

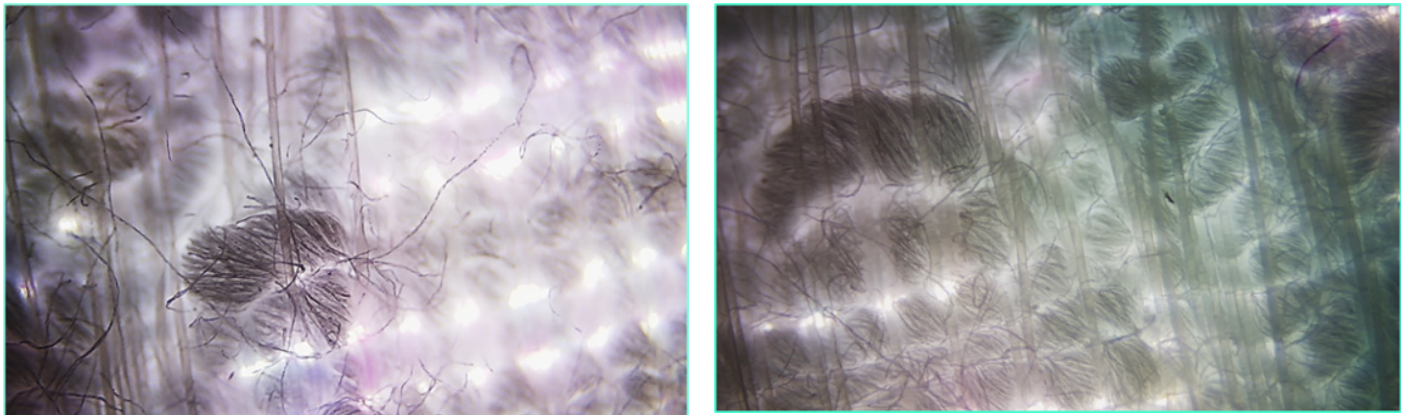


Фигура 9. *Опаката част на необагрения плат (x40; x100 увеличение)*

Микроскопски снимки: Print Fabric 51188731



Фигура 10. *Лицева част на плата след нанасяне на печатната паста (x40; x100)*

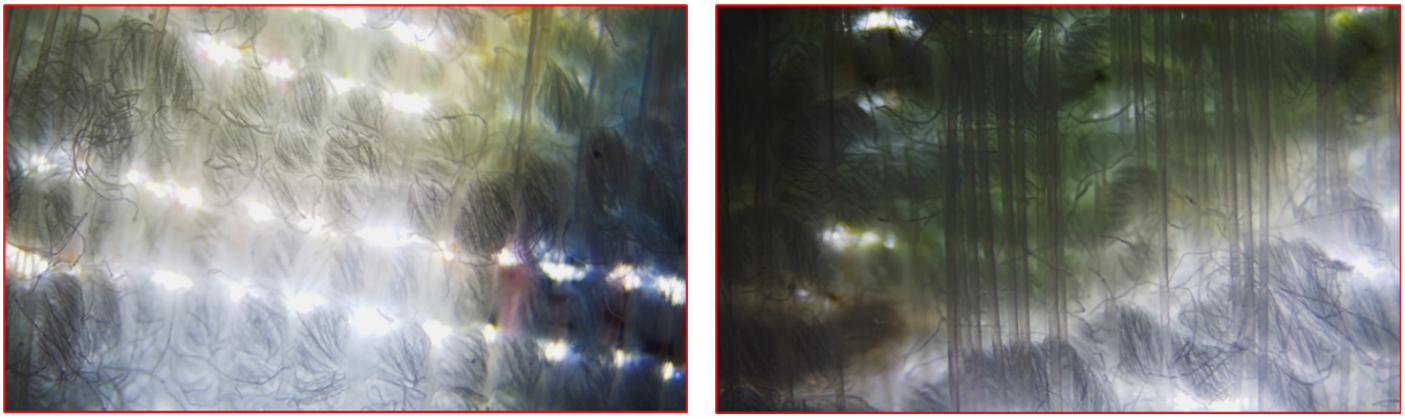


Фигура 11. *Опаката част на плата след нанасяне на печатната паста (x40; x100)*

Микроскопски снимки: Print Fabric 51156691

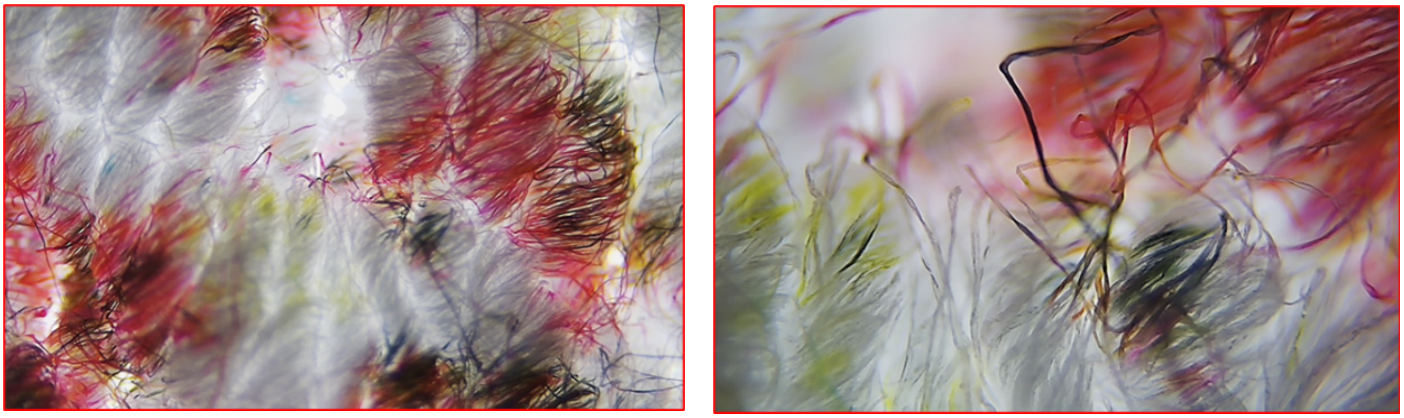


Фигура 12. *Лицева част на плата след нанасяне на печатната паста (x40; x100)*

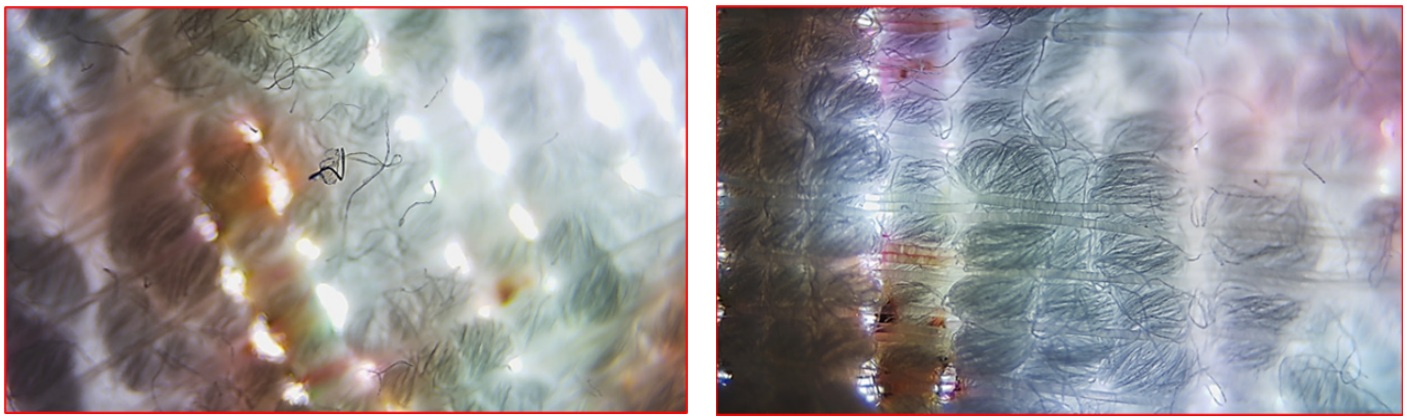


Фигура 13. *Опаката част на плата след нанасяне на печатната паста (x40; x100)*

Микроскопски снимки: Print Fabric 51193685



Фигура 14. *Лицева част на плата след нанасяне на печатната паста (x40; x100)*



Фигура 15. *Опаката част на плата след нанасяне на печатната паста (x40; x100)*

Микроскопският анализ е проведен чрез оптична светлинна микроскопия (LM) и е приложен с цел качествена оценка на морфологията и структурата на текстилната основа, както и за проследяване не структурните промени след печатане. Методът позволява визуализация на влакнестата структура, разпределението на влакната, порьозността и степента на порите след печатане.

Особеното, което се наблюдава е, че печатната паста се разполага върху лицевата част на плата и много малко прониква и достига до опаковата част. Голяма част от порите запазват размерите си и това допринася за запазване на въздухопропускливостта на тъканта. Влакната не са набъбнали, а с първоначалните размери на диаметъра им. Багрилото обвива само горната част на влакната. Това допринася за пестене на багрилни компоненти, вода и енергия.

ИЗВОДИ

1. Установено е, че консумацията на багрило по приложената технология за дигитален мастилено-струен печат (IJTPT) варира около 198,0 mg на 1,0 m2 плат, или 281,16 mg на 1 m2 от иновативния плат при ширина 142 cm.

2. Установено и доказано е, че багренето по приложената технология по метода IJTPT изисква само 2 вани за пране и едно обработване с пара с обща консумация от около 1,59 L промишлена вода на 1,0 m2 плат.

3. Постигнат е екологичен и икономически ефект от прилагането на метода на дигитален мастилено-струен печат върху платове.

Acknowledgments: Present research has been developed by project No. 2025-1-BG01-KA210-ADU-000363229 under the Erasmus+ program with the operating organization of the National Agency for Human Resources Development Centre in Sofia.

REFERENCES

[1] Turgut, Halil, Girgin, Asli, Yarar, Özlem. (2023). Development of reactive digital printing process for cellulosic fabrics. Journal of Innovative Engineering and Natural Science. 2. 127-136. 10.29228/JIENS.70020.

[2] Fuyun Sun, Kun Zhang, Changhai Xu, Kuanjun Fang. (2025). Drying-free inkjet printing of cotton fabrics through controlling the diffusion of dye inks in wet sodium alginate films, International Journal of Biological Macromolecules, Vol.307, Part 3, 141825, ISSN 0141-8130, https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.141825.

[3] Jianjun Zhang, et al. (2024). Controlled micro-scale ink droplet spreading on cotton fabrics via cellulose-based coatings for greener textile inkjet printing, Industrial Crops and Products, Vol.213, 118488, ISSN 0926-6690, https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118488.

[4] Majeed, H., Iftikhar, T. (2024). Ecofriendly reactive printing of cellulosic fabric with sustainable novel techniques. Cellulose 31, 7067–7081. https://doi.org/10.1007/s10570-024-06008-2

[5] Mousa, A.A., Almetwally, A.A., Nassar, S.H. et al. (2024). A novel green approach for reactive printing of cotton/cellulosic regenerated blended fabrics using trisodium nitrilotriacetate. Sci Rep 14, 24981. https://doi.org/10.1038/s41598-024-75633-5

[6] M. A. Shah et al. (2021). Classifications and Applications of Inkjet Printing Technology: A Review, October 2021 IEEE Access 9:140079-140102, DOI:10.1109/ACCESS.2021.3119219

[7] Rabbi, M.B.U., Ferdous, T., Dina, R.B., Islam, M. (2025). Recent Advances in Textile Printing Techniques. In: Maiti, S., Shahid, M., Adivarekar, R.V. (eds) Sustainable Coloration Techniques in Textiles. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-4975-4_13

[8] Technology overview-Technology-Industrial Inkjet | KONICA MINOLTA

[9] Sushil Kumar Hada, Mitesh S. Shah. (2012). Advantages of Digital Fabric Printing, 100% Knit Fabric Digital Printing - Fibre2Fashion

[10] Das, D., Rahman, F., Rayhan, Md. (2025). Comparative Analysis of Fabric Property Changes Processed by Two Different Brands of Stenter Machines: A Study on Drying and Finishing Effects in Textile Production, Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, DOI: 10.46254/BA08.20250126

[11] Rahnev I., Rimini G., DVOEN TAKAN PLAT ZA ZASHTITNO OBLEKLO, reg. № BG/U/2016/3442, https://portal.bpo.bg/bpo-registers/utility-models/view/BG_U_2016_3442.

[12] Rimini G., TEHNOLOGICHNA LINIYA ZA MASTILENOSTRUEN PECHAT VARHU PLATOVE, per. № BG/U/2019/4535, https://portal.bpo.bg/bpo-registers/utility-models/view/BG_U_2019_4535

[13] Vasileva V., Bagrila i tekstilni spomagatelni sredstva, izd. HTMU, Sofiya, 2002

[14] Vasileva V., Tekstilna himiya II ch., izd. HTMU, Sofiya, 2012, ISBN 978-954-465-058-2

[15] Petkov Petko P., MASHINA ZA REAKTIVEN I DIGITALEN PECHAT KAM INSTALATSIYA ZA PECHATANE VARHU TAKANI, reg. № BG/U/2011/2063, https://portal.bpo.bg/bpo-registers/utility-models/view/BG_U_2011_2063

[16] www.emiroglio.com