

ДИГИТАЛНО ШТАМПАЊЕ ТЕКСТИЛА

Бранислава Б. ЛАЗИЋ

Биљана Б. ПОПОВИЋ

Академија техничко-уметничких струковних студија Београд,
Одсек Висока текстилна школа за дизајн, технологију и менаџмент, Београд

Снежана Т. ПОЗНАНОВИЋ

Факултет примењених уметности у Београду, Београд

<https://doi.org/10.18485/smartart.2022.2.2.ch21>

Апстракт: Да би текстилни производ био успешан на тржишту треба ускладити најмање три основна услова: модни захтев (дизајн/боја/актуелност), врсту влакана и конструкцију материјала и предмета и ефекат дораде који, између осталих процеса оплемењивања текстилних материјала, обухвата и штампање. Под штампањем текстилних материјала подразумева се израда шаре (дезена) у једној или више боја, односно нијанси, на разним текстилним материјалима различитих степена прераде, различитим технолошким поступцима/методама, применом различитих техника, односно алата/машина. То је процес који спаја дизајнерске идеје, једну или више боја и текстилну подлогу (супстрат), при чему бројни фактори утичу на прецизност наношења боје.

Дигитална штампа текстила постала је популарна у 21. веку, што је неминовно довело и до шире сарадње технолога и дизајнера. Међутим, још увек нису комерцијализоване *ink jet* машине великих брзина, конкурентне сито штампању или штампању гравираним ваљцима. Последњих година интензивно се ради на развоју комерцијалних машина, развоју еколошки прихватљивих боја/мастила погодних за дигитално *ink jet* штампање на текстилним материјалима различитог сировинског састава, побољшањима поступака наношења боја и постојаности обојења и развоју дизајна софтверских система, што је довело до проширења опсега примене и остваривих циљева, пре свега примене дигиталне штампе на великом броју различитих супстрата са аспекта структуре и сировинског састава и постизања задовољавајућег квалитета дезена и самог обојења, у свему према захтевима купаца.

У раду је разматрано дигитално штампање, пре свега *ink jet* штампање, као најпримењиванија технологија дигиталног штампања, његове предности и недостаци и његов утицај у дизајну текстила, у смислу поновног подешавања конвенционалног дизајна – уштеда времена и материјала применом дигиталног дизајна, чиме се елиминише дуготрајно и скупо узорковање – и стварања нових погледа у дизајну, имајући у виду да технологија дигиталног штампања није утицала на

стил дизајна, већ је употребљена да убрза процес дизајна. Последица тога је да креатори могу одржавати виши ниво квалитета дизајна и естетике континуалном корекцијом дизајна у процесу штампања. Захваљујући дигиталном штампању, дизајн штампаног текстила постао је универзалнији у својој примени и функцији.

Кључне речи: дигитално штампање, *ink jet*, штампање текстила.

УВОД

Будућност моде је прилагођавање – од боја и штампе, до величине и облика одеће – све према захтеву тржишта, тако да су потенцијал дизајна и утицај на модно тржиште неограничени (Textile World, 2018). Под штампањем текстила подразумева се израда шаре (дезена) у једној или више боја, односно нијанси, наношењем боје на тачно одређена места на разним текстилним материјалима, различитим методама, применом различитих алата/машина, односно техника. При штампању, боја се мора задржати у оквиру граничних контура дезена који се желе извести, што се постиже одговарајућом формулацијом боја (Lazić, 2016) (Lechêne, n.d.).

Неки типови боја/мастила могу да захтевају накнадни третман, као што је парење или термофискирање. Једини захтев је да тканине које се користе буду претходно третиране у циљу пријема боје, да би се достигао шири спектар обојења и захтевани квалитет. Претходни третман тканина допушта да се добије широк опсег обојења и оптимална обојеност и репродуктивност обојења, као и постојаност на прање и хабање. Развијени су различити типови третмана, у складу са тканинама и бојама које се могу употребити.

Дигиталне технологије се користе у штампању текстила већ дуги низ година, али тек недавно су отишле даље од једноставних прототипова и генерисања узорака. Међутим, нису сви текстилни материјали исти и није сва дигитална штампа на текстилу иста. Постоје различите технологије штампања погодне за различите врсте и примене текстила (Romano, 2016). Дигитално штампање текстила је мултидисциплинарно подручје (Tyler, 2011), које подразумева софтверски контролисано штампање дезена на текстилном материјалу у једном кораку, слично дезену одштампаном на папиру (Romano, 2016).

Један од највећих проблема у штампању текстила, укључујући и дигиталну штампу, је компатибилност штампарске боје (пасте, мастила) и супстрата (текстилног материјала), односно везивање боје/мастила за супстрат и постојаност обојења при било којој крајњој употреби штампаног материјала. Ови проблеми у великој мери решени су применом ултраљубичастог зрачења за очвршћавање и фиксирање боје и латекс боја. Такође, и побољшана конструкција глава штампача и висококвалитетни супстрати у великој мери су допринели развоју поступака дигиталног штампања текстилних материјала (Romano, 2016).

Разноврсност дигиталне штампе утицала је на брзи раст примене у текстилној индустрији, и имала је све већи значај за текстилну индустрију (Jamil et al., 2014). Поред тога, дигиталне технологије, које се користе у производњи индустријских размера, изазов су за произвођаче боја/мастила и текстилних помоћних средстава, а захваљујући технолошким иновацијама, тржиште дигиталне штампе

константно напредује, будући да корисници захтевају производе који подржавају комплетан производни циклус и који гарантују квалитет, продуктивност и поузданост без компромиса (“Industrijska digitalna štampa na tekstilu“, 2016).

Ink jet штампање текстила је нова линија у штампању текстила, која нуди предности као што су ефикасност процеса, једноставност употребе, ефикасност и смањени утицај на животну средину. Дигитално штампање текстила убрзано се развијало у последњих неколико деценија, стварајући нове могућности за дизајнере, технологе (штампаре) и потрошаче (Tawai, Kofi Howard et Asinyo, 2016).

У дугој историји штампања, *ink jet*, *inkjet* или дигитално штампање је можда последње револуционарно откриће (Cie, 2015).

РАЗВОЈ ШТАМПАЊА ТЕКСТИЛА

Штампање пружа велике могућности дезенирања текстилних материјала. Развој технологије штампања напредовао је у широким размерама, а узрок томе су захтеви тржишта, који су се мењали и проширивали. Последице тога су савршеније и рационалније методе рада, континуални поступци, савршенија, компјутеризована опрема. Велики замах и подстицај убрзаном развоју технологије штампања текстила дала је и производња нових синтетичких влакана, за које су синтетизоване нове групе боја и примењиване њима одговарајуће методе штампања и текстилна помоћна средства (Lechêne, n. d.).

Штампање текстила је врло стара уметност развијена и креирана на тканинама древних цивилизација, са веома сложеним и разноврсним дезенима. Упоредо са тим развијени су и алати, који су унапредили поступке штампања. Постоје открића тканина штампаних пре неколико хиљада година, које потичу из Египта. Такође, пронађене су штампане тканине у Грчкој настале током 4. века п.н.е. и блокови за штампу у Индији из 5. века п.н.е (Fibre2Fashion, 2005) (Tawai, Kofi Howard et Asinyo, 2016).

Средином 15. века, проналаском штампарије од стране Џона Гутенберга (*John Gutenberg*), дошло је до драстичне промене у технологији штампања и штампању текстила. Вилиам Какстон (*William Saxton*) је био заслужан за изузетну распрострањеност рељефног штампања у Енглеској (1476. год.). У 16. и 17. веку, Индија је постала главни добављач тканина и других сировина за штампање, према захтеву европских земаља. Тек 1676. основана је прва штампарија у Енглеској. Касније, у 18. веку, појавила се техника штампања помоћу ваљака или цилиндара. Крајем 17. и почетком 18. века започело се са штампањем у Француској, Немачкој, Швајцарској и Аустрији. Тек 1738. започело се са применом штампања у Шкотској, а 1764. основана је прва штампарија у Ланкаширу (*Lancashire, UK*) и постављени темељи нове индустрије. Напретку штампања текстила допринео је рад штампарије у Дартфорду (*Dartford, UK*), која је имала примат све до 1865. године, када је на обали реке Дарент (*Darent, UK*), 1907. године, основана нова штампарија (Fibre2Fashion, 2005).

20. век означио је долазак модерног процеса сито штампе. Прву фотографску матрицу направио је Колин Шарп (*Colin Sharp*) 1940. године. Средином 20. века, вишебојна ротациона сито штампа омогућила је штампање великих серија, брже и економичније.

Крајем 1980-их, побољшањем технологије штампања текстила, *ink jet* штампачи у боји играли су значајну улогу у освајању тржишта текстила. Тада су *Canon* и *Hewlett-Packard* постали лидери у технологији штампе (Fibre2Fashion, 2005).

Раније, метода директног штампања употребљена је за компјутерско штампање тканина црно-белом техником због доступности само ласерских штампача и штампача са тракама, јер нису постојали штампачи у боји. Године 1999. развијена је технологија „*Bubble Jet*“ штампања, која је омогућила да обрађена тканина буде штампана на *ink jet* штампачу (Fibre2Fashion, 2005).

Током последњих 30 година догодила се дигитална револуција, која је дотакла све области живота и рада. Дигитална технологија је у великој мери утицала на многе индустрије, укључујући тржиште штампаног текстила, не само увођењем *jet* штампарских машина пуне ширине, већ упливом у све аспекте конвенционалног штампања, од фазе израде дезена, кроз формулацију рецептуре, производњу сита и припрему пасте за штампу, до завршне електромеханичке контроле саме машине за штампање (Miles, 2003).

МЕТОДЕ ШТАМПАЊА ТЕКСТИЛА

Штампање текстилних материјала може се изводити применом различитих метода, од којих се данас најчешће примењују (Lazić, 2016) (Cie, 2015) (Schönberger et Schäfer, 2003) (Kašiković, 2016):

- директно штампање,
- штампање разарањем основне боје,
- штампање резервисањем (помоћу заштитних средстава).

Поред ових метода, које се примењују за масовну израду артикала широке потрошње, постоје и специјални поступци, који имају за циљ првенствено добијање специјалних ефеката и због тога се најчешће користе у производњи мањих серија или уникатних модела.

Ови поступци могу се изводити применом различитих техника штампања, односно применом различитог штампарског алата (машина): штампање модела, равна сито штампа, штампање гравираним ваљцима, штампање ротационим шаблонима итд. Овоме треба додати и дигиталну штампу, која је у почетку била развијена само за примену методе директног штампања.

ДИГИТАЛНО ШТАМПАЊЕ И ЊЕГОВ УТИЦАЈ НА ДИЗАЈН ТЕКСТИЛА

Дигитално штампање је ефективан метод за директно nanoшење функционалних материјала/боја/мастила на флексибилне супstrate, укључујући и текстил, у унапред дезенираним узорцима захваљујући једноставној обради, ниској цени и већој прилагодљивости за велику производњу широке палете производа (Nayak et al., 2019) (Осерек, 2011). Технологија дигиталног штампања је свеобухватно решење за дизајнере и произвођаче текстила (Petricin, Šostar-Turk i Neral, 2001). Она је трансформисала штампање текстила са значајним успехом у погледу брзине штампања, технологије главе за штампу и опсега мастила (Tawai, Kofi Howard et Asinyo, 2016).

Данас, *ink jet* штампање чини отприлике 4% тржишта штампаног текстила. Међутим, очекује се да ће ове бројке расти како све већи број крајњих кори-

сника почиње упоредо да покреће дигиталну и аналогну технологију, или се потпуно пребацује на дигиталну. Дигитално штампање текстила имало је утицаја на два правца у дизајну текстила (Van Parys, 2018): поновно подешавање конвенционалног штампарског дизајна (могућност примене дигиталног дизајна за класичне технологије штампања, чиме се значајно штеди на времену и материјалу елиминисањем дуготрајног и скупог узорковања) и стварање нових погледа у дизајну. Јасно је да технологија дигиталног штампања није утицала на стил дизајна, већ је употребљена да убрза процес дизајна. Ова технологија штеди време за дизајн, чиме, између осталог, постаје много бржа и ефикаснија понуда тржишту.

Из технологије дигиталног штампања текстила могу се добити најновији иновативни и креативни дезени попут концепата сенке, светлуцања, вибрација, одсјаја, *toïre, ой̆ичких, ÷ровидних, мрежас̆их, замӑених, наслӑаних слојева, сўер̆онирања йг.*, *умес̆о да се улажу ÷осебни нӑори ÷радиционалним мет̆одама* штампања. Међутим, упркос многим иновацијама и лансирању нових, побољшаних машина, циљ, учинити дигиталну штампу конкурентном сито штампи за дужине око 1000 метара, није постигнут (James, 2011). Усвајањем техника дигиталног штампања може се поново прилагодити уобичајени дизајн штампе и дати нови изглед дизајну (Fibre2Fashion, 2005).

У историји штампања текстила и посебно у често супротстављеном контексту профита и бриге за животну средину, ретко се постављало питање зашто штампати на текстилу. Штампање ретко утиче на функционална својства текстилних материјала, али побољшава естетске карактеристике материјала и материјалу даје нову, додатну вредност. *Ink jet* штампање допуњује и довршава прелазак на дигитално заснован дизајн који такође помера праксу дизајна текстила. Развој науке и технике у великој мери утиче на уметника-дизајнера, па самим тим и развој дигиталног штампања текстила пружа могућност брзог прилагођавања захтевима тржишта и брзом одговору на модне трендове. То омогућава дизајнеру текстила да прошири своје видике и да еволуира у дизајнера „површине“ (креира понављајуће форме које различитим техникама примењује на површини текстилног материјала, ради побољшања њеног визуелног изгледа и/или функционалности) или „узорка“ (креира изоловане форме за штампу на различитим супстратима, естетског и/или информативног карактера) (Сie, 2015).

Дужина текстилног супстрата који се штампа драматично се смањила. Дизајнери пружају више опција, а трговци захтевају ширу палету производа и мање залиха. Брзо обнављање популарног дизајна може повећати профит. Како се дужине серија смањују, трошак традиционалне сито штампе расте. Дигитално штампање може бити исплативије у односу на сито штампу за мање дужине (Ujije, 2006).

Ink jet штампање

Најчешће примењивана технологија дигиталног штампања за штампање текстила је *ink jet*. То је компјутерска технологија штампања којом се боја/мастило наноси на текстил из млазница, што значи да није потребан носач слике која ће се штампати, већ се слика формира директно на супстрату (текстилном материјалу) (Kirphan, 2001). *Ink jet* штампање се може дефинисати као поступак којим се жељени узорак са својим појединачним бојама изграђује пројектовањем ситних капљица различитих боја, у унапред одређене микро-низове (пикселе) на

површину супстрата (Miles, 2003). Развијен је читав низ механизма за активирање млазница. Међу њима су најистакнутији термички, пиезоелектрични и електро-хидродинамички *ink jet* системи (Khan, Lorenzelli et Dahiya, 2014). Кључне тачке о којима треба водити рачуна при формирању капи и испоруци, било којим обликом главе за штампање, су: облик капљице, запремина капљице, брзина млаза и правац млаза (Cie, 2015).

ИСТОРИЈАТ ИНК ЈЕТ ШТАМПАЊА

Струја течности униформних капљица из отвора формирана је 1833. год, математички ју је објаснио Лорд Рејли (Lord Rayleigh), у радовима објављеним 1878. и 1892, технологија *ink jet* штампања истраживана је дуги низ година, а појавила се на потрошачком тржишту крајем 1980-их. Први *ink jet* штампач представила је фирма *Siemens Elema* у Шведској 1948. год, који је радио по принципу установљеном од стране Рејлија (1951). Почетком 1960-их година Ричард Свит (Richard Sweet), са Универзитета Станфорд (Stanford University, USA), открио је да се применом притиска млаз боје/мастила може разбити у капљице униформне величине и облика на високој фреквенцији вибрирањем пиезо кристала (1965). Седамдесетих година прошлог века, IBM је покренуо развојни програм за прилагођавање континуиране *ink jet* технологије својим штампачима (1977). Крајем седамдесетих година прошлог века појавила се прва *ink jet* метода “drop-on-demand” (DOD) (Siemens, 1077). Многе DOD *ink jet* системе изумили су, развили и комерцијално производили током 1970-их и 1980-их углавном *Epson*, *Hewlett-Packard* (HP) и *Canon* (Soleimani-Gorgani, 2016) (Bronstein, 2017) (Ujiie, 2006) (Keeling, 1981). *Canon* је свој систем назвао “Bubble Jet”, а *Hewlett-Packard* “ThinkJet” (Cie, 2015).

Дигитални или *ink jet* штампачи први пут су примењени у индустрији тепиха око 1970. год. 1980. највећи јапански произвођач дигиталних штампача, *Seiren*, почео је развој *ink jet* штампача који су могли да се директно примене на тканине, а 1989. изграђена је фабрика за производњу *ink jet* штампача за тканине. *Idanit Technologies* су 1996. произвеле штампаче високе брзине, великог обима глава за штампу, што је омогућило планирање масовне производње. Крајем 1990-их уведена је употреба електрофотографије за штампање одеће у пастелне тонове на памуку и мешавинама. Нови технолошки напредак 1999. означило је увођење “airbrush”, “valve jet”, континуалних *ink jet* штампача, *piezo ink jet* и такође метода за ојачавање и заштиту тканина винилом, што је започело примену графичких банера. На ITMA 1999, *Storks* је приказао целу своју линију дигиталних штампача, а представљени су и *Amethyst* седмобојни континуални *ink jet* штампачи. *Screen Printing Institute* (USSPI) представио је 2004. свој уређај *T-Jet TM* за брзо штампање одеће (Jamil et al., 2014). *Epson*, пионир у дигиталном штампању текстила, поседује најсавременију опрему за индустријску дигиталну штампу на текстилу, који примењује растворљиве боје, боје на воденој основи и боје које имају способност сублимације („Industrijska digitalna štampa na tekstilu“, 2016) („Otvoren studio za štampu na tekstilu za sve dizajnere i studente dizajna“, 2017). Нови штампачи поседују прегршт нових функција које професионалним штампаријама нуде супериоран квалитет, радне перформансе и ефикасно искоришћавање боје/мастила („Epson na sajmu FESPA Digital u Amsterdamu“, 2016).

Карактеристике *ink jet* штампања

Ink jet штампање је бесконтактна метода, која је у стању да депонује жељену количину материјала директно са рачунарски дезениране слике на изабрано подручје супстрата генерисањем капи из резервоара, уз минимално учешће извршиоца. Нема ограничења у погледу врсте супстрата (Soleimani-Gorgani, 2016) (Cie, 2015). Квалитет штампе у *ink jet* штампању у великој мери зависи од квалитета боје/мастила, исправности главе за штампање и супстрата (Soleimani-Gorgani, 2016), (Ujiie, 2006).

Упркос свим предностима технологије *ink jet* штампања, зачепљење млазница је увек представљало главни проблем, јер боја/мастило за *ink jet* штампање садржи нерастворљиве микро- или наночестице које се могу агломерисати и таложити током процеса штампања. *Ink jet* штампање има и недостатака као што је сложено понашање при сушењу, да би се добио униформни штампани филм (Soleimani-Gorgani, 2016).

Успешна примена *ink jet* технологије у текстилној индустрији заснива се на интеграцији машине, правилног избора и прилагођавања главних компонената (*ink jet* боје/мастила, главе за штампање, RIP (*Raster Imaging Processor*) софтвера, претходне и накнадне обраде текстила) и, пре свега, одабира правих стратегија које одговарају и прилагођавају се специфичним потребама сваке појединачне примене. Важни су и други фактори као што су врста и квалитет тканине, површинска маса тканине, покривеност дезена, врста дезена и количина боје/мастила која се наноси. Квалитет штампе такође зависи од стања дигиталног штампача, циклуса ланца производње, људског фактора (сензибилитет оператора и култура посла) (Van Parys, 2018).

Ink jet технологије

Технологије *ink jet* штампања се класификују у две велике класе: континуиране *ink jet* системе (*Continuous Ink Jet* – CIJ) и системе са „отпуштањем капљица на захтев” (*Drop-on-Demand Ink Jet* – DOD (U) (сл. 1) (Ujiie, 2006) (Fibre2Fashion, 2005) (Bronstein, 2017) (Kipphan, 2001) (Cie, 2015).

Континуирану *ink jet* систему

У CIJ систему, боја/мастило се потискује кроз млазнице константном брзином, применом сталног притиска (сл. 2) (Kipphan, 2001). Млаз боје/мастила је природно нестабилан и распада се у капљице убрзо након напуштања млазнице. Само део континуално генерисаног тока малих капљица боје/мастила се усмерава на супстрат у току штампања, у зависности од слике која се штампа. Неодштампане капљице се усмеравају у сабирни олука ради рецикулације. Скретање се обично постиже наелектрисањем капљица и применом електричног поља за контролу путање. Без било какве интервенције, распад млаза би се дешавао случајно и резултирао би капљицама променљиве величине. То се обично коригује обезбеђењем периодичног побуђивања на млазници, које се претвара у просторну пертурбацију у млазу тачности. Комбинација брзина млаза и фреквенције побуђивања одређује величину капљице, која може бити контролисана са веома великом тачношћу (Ujiie, 2006) (Fibre2Fashion, 2005) (Kipphan, 2001) (Jamil et al., 2014) (Cie, 2015) (Soleimani-Gorgani, 2016) (Kašiković, 2016).

CIJ систем штампања може да користи боје/мастила на бази испарљивих растварача, што омогућава брзо сушење и правилно пријањање на многе супstrate. С друге стране, то CIJ системе чини еколошки непријатељском технологијом (Kipphan, 2001) (Soleimani-Gorgani, 2016) (Jamil et al., 2014).

Због сложености конвенционалних CIJ система (пуњење и скретање, рецикулација боје/мастила, притисак), такве главе за штампање су обично скупе. С друге стране, с обзиром да се млазнице активно допуњавају под притиском, радне фреквенције ових уређаја су најмање за ред величине веће него код DOD система. Због тога, CIJ системи се углавном користе у индустријској примени (Ujiie, 2006). Континуирани проток боје/мастила омогућава да се веома испарљиви растварачи укључе у формулацију боје/мастила. Њихове велике брзине сушења чине могућим велике брзине штампања, као и смањење вероватноће блокаде млазница услед накупљања остатака боје/мастила узрокованих таложењем и сушењем (Cie, 2015).

Пиезоелектрични побуђај – У традиционалном CIJ приступу, пиезоелектрични претварач је повезан са главом за штампање како би се обезбедило периодично побуђивање – осцилације су механичке природе. По изласку из млазнице, капљице се наелектришу у количини која зависи од слике која се штампа. Капи затим пролазе кроз електрично поље како би се омогућило њихово скретање (Ujiie, 2006), (Kašiković, 2016). Постоје два начина за скретање капи у пиезоелектричном CIJ. У **методи бинарног скретања** капљице су усмерене или на место једног пиксела на супстрату или на олук. Свака капљица има једно од два стања наелектрисања – ненаелектрисано, за директан пренос на супстрат и наелектрисано, за скретање у електричном пољу и сакупљање ради рециклаже. У **методи вишеструког скретања** отклон је променљив тако да капљице могу пасти на неколико пиксела. Наиме, капљице примају различито наелектрисање и преусмеравају се на супстрат под различитим угловима. Ненаелектрисане капљице се враћају у сабирни олук ради рецикулације.

У **Hertz методи** штампања количина (густина) боје/мастила положеног по пикселу је променљива. То се постиже генерисањем врло малих капи при брзинама од око 40 m/s са фреквенцијама побуђаја од преко 1 MHz. Капи, за које није предвиђено да доспеју на супстрат, се наелектришу и скрећу у олук. Капљице за штампу добијају мање наелектрисање, како би се спречило њихово спајање.

У CIJ методи штампања познатој као **микротачка** (*microdot*, „модулација“ капљице) величина капљице може да варира, што омогућава варирање интензитета штампе, као и варирање пуњења која носе капљице. При томе, само мање капљице се наелектришу и падају на супстрат (Cie, 2015) (Yamada et al., 1988).

Топлотни побуђај – *Kodak* је открио систем у коме се користе топлотни импулси да се униформно разбије млаз боје/мастила. У овој технологији свака млазница има прстенасти електрични грејач који пулсира на одређеној фреквенцији. Створена топлота подиже температуру млаза боје/мастила у близини млазнице и локално снижава вискозност боје/мастила. Због тога што је пулс загревања периодичан у времену и брзина млаза константна, резултујући млаз се распада у капљице једнаке величине на репродуктиван начин (Ujiie, 2006).

Ink jet системи са ошћушћањем капљица на захћев

У DOD системима, капљице се избацују само када је потребно да се формира слика (сл. 3) (Jamil et al., 2014). Два главна механизма која се користе за гене-

писање капи су пиезоелектрични млаз (*Piezoelectric Ink Jet* – PIJ) и термички млаз (*Thermal Ink Jet* – TIJ). У PIJ, запремина коморе са бојом/мастилом унутар млазнице се брзо смањује помоћу пиезоелектричног актуатора, који истискује капљице боје/мастила из млазнице. У TIJ, електрични грејач, смештен унутар сваке млазнице, користи се за подизање температуре боје/мастила до тачке нуклеације мехурића (Ujiie, 2006) (Kipphan, 2001). DOD се све више примењује за текстилне супstrate (Cie, 2015).

DOD пиезоелектрични ink jet – Механизам који се користи за тенерисање капљица је пиезоелектрични елемент, обично направљен од олово цирконат титана. У зависности од архитектуре главе, пиезоелектрични претварач би могао бити причвршћен на мембрану која формира зид коморе са бојом/мастилом, или би могао да чини саму комору. У оба случаја, када се напон примени на електроде пиезоелектричног елемента, запремина коморе се смањује, што резултира истиснућем капи боје/мастила из млазнице (Jamil et al., 2014) (Ujiie, 2006). Не постоје ограничења типа боје/мастила у пиезоелектричној ink jet технологији, али су главе за штампање и одговарајући хардвер скупи.

Главе за штампање PIJ се понекад деле на различите класе у складу са геометријом избацивача капљица и/или начином рада пиезоелектричног елемента, односно зависно од деформације пиезоелектричног елемента. Класе су према (сл. 1) (Ujiie, 2006) (Fibre2Fashion, 2005) (Cie, 2015) (Bronstein, 2017):

- **Режиму смицања** – Електрично поље је нормално на правац полирања пиезоелектричног материјала. Примена овог поља производи смицање у пиезоелектричном материјалу, због чега се мембрана креће као мазалица (лубрикатор).
- **Режиму савијања** – Електрично поље и правци полирања су паралелни. Пиезоелектрични материјал се поставља на мембрану и мембрана се креће као мазалица.
- **Режиму потискивања** – Вектори електричног поља и поларизације су паралелни, али је мембрана постављена у правцу ширења пиезоелектричног материјала.
- **Режиму стискања** – Избацивач капљица је шупља цев од пиезоелектричног материјала. Након примене електричног поља, унутрашња запремина цеви смањује свој радијус и избацује боју/мастило у правцу своје осе.
- **Порозном слоју** – У пиезоелектричној глави за штампање коју је пројектовала фирма *Aprion* (глава за штампање класе порозни слој), извршна комора је направљена од порозног металног слоја (нпр. синтеровани нерђајући челик) и боја/мастило се доводи до коморе кроз овај порозни материјал.
- **Побуђају млазнице** – У новом начину конфигурирања пиезоелектричног избацивача капљица, пиезоелектрични елементи су постављени на плочу млазнице. Једноставност путање течности требало би да резултира значајним трошковним предностима, као и робусношћу у односу на присуство ваздушних мехурића на путу боје/мастила.

За све режиме важи следеће (Soleimani-Gorgani, 2016): брзина, величина и облик капљица могу се контролисати подешавањем таласног облика напона примењеног на млазнице; размак капљица може се контролисати поставља-

њем под углом линије млазница дуж главе штампача; видео камером може се пратити стварање и удар капљица; главе за штампање су отпорне на топлоту.

DOD топлотни ink jet (TIJ) – Електрични грејач обично се уграђује унутар млазнице. Кроз грејач се пушта струјни импулс, да би се температура боје/мастила у његовој близини брзо подигла на 300 до 400 °C (Soleimani-Gorgani, 2016). То доводи до тога да се мехур паре бурно нуклеише и шири, избацујући капљице боје/мастила кроз отвор млазнице. Након избацивања капљица, комора за боју/мастило се пуни свежим бојом/мастилом и поступак се понавља. TIJ фаворизује боје/мастила на бази воде (Soleimani-Gorgani, 2016), (Kipphan, 2001) (Jamil et al., 2014). Различитим техникама може се контролисати или на ограничен начин изменити укупна избачена запремина боје/мастила (Ujii, 2006). Главе за штампање за овај поступак нису скупе, али имају одређена ограничења у употреби течности у формулацији боје/мастила (Soleimani-Gorgani, 2016).

Постоји неколико конфигурација TIJ избацивача капљица. У типу „**кровни избацивач**”, раван у којој се налази грејач паралелна је са равни млазнице. У типу „**бочни избацивач**”, раван млазнице је нормална на раван грејача. Постоје и дизајни генератора капљица типа „**задњи избацивач**”, где се грејач налази на задњој страни плоче млазнице. Canon је 1997. представио верзију „**бочног избацивача са више грејача**” који омогућава модулацију капљице. Sony је развио тип „**кровног избацивача са два независно вођена грејача**”. Такође, предложене су енергетски ефикасне конфигурације са „**спуштеним грејачима**”, у којима, због тога што је грејач уграђен у боју/мастило, већи део укупне топлоте створене током избацивања преноси се на боју/мастило, што резултира већом енергетском ефикасношћу него у конфигурацијама где је грејач у супстрату. Коначно, Canon је у низу патената открио дизајн избацивача капљица са „**покретним елементом (мембраном)**” који, потиснут током ширења мехурића паре, спречава улазак боје/мастила у резервоар са бојом/мастилом кроз регион задњег канала. Очекује се да ће ово побољшати енергетску ефикасност избацивача капљица.

Друге DOD ink jet технологије – Постоје друге DOD технологије у различитим фазама развоја, које потенцијално могу успети да одговоре на потребе купаца на неким тржиштима. Слично пиезоелектричном претварачу, електрично поље се може директно користити за померање мембране коморе са бојом/мастилом и тако произвести избацивање капи. Ово је принцип рада **електростатичког избацивача** капљица боје/мастила (Ujii, 2006). Xerox је развио *ink jet* технологију у којој се **акустично побуђивање** фокусира на слободну површину боје/мастила како би се избацила кап, а ниво боје/мастила мора бити строго контролисан (Soleimani-Gorgani, 2016). Принцип рада **термо-механичке млазнице** боје/мастила заснован је на наглом кретању композитне структуре узрокованом различитим коефицијентима топлотног ширења изазваним загревањем електричног отпорника. У једној од изведби, кретање лопатице уроњене у боју/мастило иза млазнице покреће поступак избацивања капљице, а у другој, сама структура млазнице је направљена да се креће према унутра стварајући кап. У механизму који се понекад назива и „**електро-хидродинамичка екстракција**” равнотежа се постиже у стању без штампе између негативног притиска који се обезбеђује у доводу боје/мастила и резервног електричног поља генерисаног екстракционом електродом која се налази испред млазнице. Када је потребна кап, на екстракциону электроду се примењује већи потенцијал, што доводи до избацивања капи. Такође, потребна је електрода за сакупљање иза супстрата која ће водити кап до супстрата. Silverbrook је у низу патената који су додељени

Kodak-у открио концепт који се назива *ink jet* покретан „површинским напоном” и који се састоји у успостављању равнотеже у млазници између позитивне погонске силе и површинског напона.

Ink jet боје/мастила

Ink jet боје/мастила су, поред главе за штампање, најважнија компонента *ink jet* штампања. Формулација и хемија боје/мастила одређују квалитет штампе, као и карактеристике млаза (Tawai, Kofi Howard et Asinyo, 2016). Доступно је неколико *ink jet* боја/мастила. У зависности од медијума, класификована су као боје/мастила на бази растварача или воде. Током последње деценије примећује се прелазак са боја/мастила на бази растварача на боје/мастила на воденој основи за различита тржишта текстила и одеће са стално променљивим еколошким захтевима. *Ink jet* боје/мастила на бази воде могу се поделити у различите категорије: реактивне боје/мастила за целулозу, вуну, полиамид и свилу; дисперзне боје/мастила за директно или индиректно (трансфер или сублимационо) штампање полиестра; киселе боје/мастила за полиамид, вуну и свилу и пигментне боје/мастила за готово сва влакана, па чак и мешавине. У случају боја/мастила на бази воде, кораци сушења и фиксирања, било за индиректно или сублимационо штампање или директно штампање на текстилу, увек су обавезни. Развој *ink jet* боја/мастила је на нивоу побољшаног квалитета, нових хромофора и ширег асортимана *ink jet* боја/мастила (Lazić, 2016) (PeractoJet, 2019). Избор *ink jet* боја/мастила диктирају текстилни материјал и крајња употреба текстилног производа, односно његова својства постојаности (Van Parys, 2018) (Lazić, Popović et Poznanović, 2019).

Inkjet боје/мастила се углавном класификују у две широке категорије: 1. базе (основе) и 2. колоранти. База се односи на медијум у коме се боја раствара или диспергује и примењује, док се колорант односи на врсту боје која се користи у медијуму, дакле растворена боја (Tawai, Kofi Howard et Asinyo, 2016).

ПРЕДНОСТИ И НЕДОСТАЦИ INK JET ШТАМПАЊА ТЕКСТИЛА

Дигитално штампање, посебно *ink jet* штампање, бележи стални раст. Развој дигиталних штампача на различитим нивоима (хардвер, софтвер, *ink jet* боје/мастила) све се више прилагођава тржишту текстила (Van Parys, 2018). Предности *ink jet* штампања текстила, у односу на класичне технике штампања, су (Miles, 2003) (Keeling, 1981) (Fibre2Fashion, 2005) (Jamil et al., 2014) (Kašiković, 2016) (Romano, 2016): флексибилност и поузданост модерних, брзих *ink jet* штампача; опрема за дигиталну штампу не захтева много инфраструктуре и релативно је доступна по нижој цени; обезбеђење централизованог производног погона; неограничене могућности израде софтвера; након креирања штампе, лако се може променити боја на истој, чиме се постиже више различитих комбинација боја на тканини кликом на миша; континуирано штампање, без застоја, што доприноси већој продуктивности; нижи производни трошкови; нема трошкова узорковања и изгубљеног времена на дезене који се не могу продати; постоји могућност развијања онолико дезена колико се жели и употреба само оних за које се зна да су профитабилни; елиминација штампарских елемената (сита, ротационих и гравираних ваљака) – дезен не захтева било какав уређај за понављање; лако и брзо прилагођавање захтевима тржишта које се непрекидно мења – драстично смањење времена за стављање производа на тржиште; могућност понуде купци-

ма широке лепезе дезена, што обезбеђује сигурне купце, који унапред знају да ће добити баш оно што желе; веома брз одговор купца на квалитет штампе, чиме се расипање на узорцима своди на минимум пре производње – време обраде узорака може се смањити са 6–8 недеља на 3 дана; мањи потребан производни простор; велика уштеда простора за складиштење (узорци се чувају на одговарајућим медијима за складиштење, нпр. CD-ROM); дезен постигнут великом флексибилношћу, без ограничења величине понављања (формата штампе), броја боја, пројектованог дизајна, који добија изванредан приказ континуалних тонских (фотографских) слика, што омогућава врло дугу производњу са понављањем отисака и пуним тонским отисцима; бољи визуелни ефекти и боља контрола униформности квалитета штампе током производње; доступност веће брзине рада, високе резолуције/величине капи и конфигурације са комбинацијом тачкастих боја или контролом боја; тренутно уклапање узорака приликом покретања, чиме се минимализује отпад супстрата и боје/мастила; минимални застоји, јер су промене узорка, као и промене боја, када се користе СМУК боје/мастила, готово тренутне; поставља се само боја/мастило потребно за дезен, чиме се елиминисе било какво непотребно трошење боје за штампање; мања потрошња боја и помоћних средстава за штампање – далеко мања количина боје/мастила нанета на подлогу; испуњавање већине предвиђених тржишних трендова, при чему су све устаљеније кратке производне серије и минимизација отпада при узорковању отисака; драстично смањена бука; драстично смањена потрошња електричне/топлотне енергије; смањена употреба воде, боја и раствора – смањени еколошки утицаји; смањење отпадних вода, индустријског отпада и губитака при штампању.

Поред бројних предности, *ink jet* штампање има и низ ограничења (Jamil et al., 2014) (Van Parys, 2018): делује на идентичан начин на тканину као и на папир, јер је механизам мање-више исти, али је тешко руковати тканином која се штампа због флексибилне природе; танак слој боје/мастила је осетљив на абразију и блеђење; за постизање жељеног обојења потребан је већи број пролаза; штампање малих серија; поступак предобраде представља додатни трошак, али даје додатну вредност тканини; може доћи до честог зачепљења млазнице; виши инвестициони трошкови; виши трошкови одржавања (глава штампача); виши променљиви трошкови.

ТРЖИШТЕ ШТАМПАНОГ ТЕКСТИЛА

Продаја дигитално штампаног текстила била је у снажној узлазној путањи све док пандемија Covid-19 није погодила 2020. Од тада су се на тржишту десили огромни поремећаји, од којих неки и даље трају. Поред прекида на улазној страни (производњи), продаја текстила са дигиталним штампањем такође је претрпела поремећаје у кључним сегментима потрошње, посебно у сегменту угоститељства. Ови фактори су учинили тржиште нестабилним. Међутим, са технолошким побољшањима у дигиталној штампи, производи постају све распрострањенији и већи број играча се укључује на тржиште. Поред тога, потражња за штампаним текстилом за уређење ентеријера одржала се на неким кључним тржиштима, упркос економском успоравању. Тржиште дигиталног штампања текстила иде ка фази раста. Ово је првенствено због значајног пораста потражње за полиестарском одећом „свиленог типа“ са прилагођеним штампарским дезеном. Ово је створило огромне могућности у дигиталном штампању текстила, и док су дигиталне технологије пионири нове врсте апликација,

неколико традиционалних текстилних апликација вероватно ће се пребацити на дигиталне. Међутим, у наредним месецима, потреба за свестраним поруџбинама и брзом испоруком убрзаће примену дигиталног штампања у овом сектору (“Digital Textile Printing Market”, 2019).

Други велики изазов за компаније, током кризе, је да утврде да технике дигиталног штампања испуњавају очекивања квалитета на основу резолуције, боје и других аспеката које купац очекује од аналогне штампе на текстилу, јер постоји недостатак радне снаге (“Digital Textile Printing Market”, 2019).

На светском тржишту бележи се пад америчке производње штампаног текстила, раст производње штампаног текстила у Азији, смањивање дужине производње, потражња за већом разноликошћу дезена, потражња за краћим производним циклусима и потражња за смањеним ризиком залиха. Најчешће штампани материјал је памук (48% производње штампе), затим мешавине памук/полиестар (19%), полиестар (15%) и вискоза (13%). На глобалном нивоу, други материјали (нпр. полиамид, полиакрил, вуна и свила) имају мали удео (Fibre2Fashion, 2005).

Боје са способношћу сублимације нуде продужени радни век и бољу стабилност, па су стога повољна опција за дигитално штампање текстила на полиестру, који се користи у индустрији моде, спорта и кућног текстила. Реактивне боје су, с друге стране, пожељније за штампање памука и других природних влакана у кућним условима и у уметничким атељеима високог квалитета. Њихова употреба ће се смањити у наредним годинама, јер доводе до загађења животне средине (“Digital Textile Printing Market”, 2019).

Постоји низ нових производа текстилне индустрије који се могу штампати дигиталном штампом и постоји много изгледа за директно и трансфер дигитално штампање (Fibre2Fashion, 2005) (Lazić, Popović et Poznanović, 2019).

Глобално тржиште дигитално штампаног текстила у 2019. години износило је 2,2 милијарде долара, а до 2027. предвиђа се да ће достићи 8,8 милијарди долара (“Global Digital Textile Printing Market“, n. d.).

INKJET ШТАМПАЊЕ И ЖИВОТНА СРЕДИНА

У свим деловима индустрије штампања текстила врши се велики притисак везан за еколошка питања. Једно од првих питања је смањење или елиминација употребе поливинилхлорида (PVC) и друге пластике. Друга област која изазива забринутост је да неке врсте дигиталног штампања текстила захтевају прање после штампања – понекад два или више циклуса – да би се уклонила нефиксирана боја/мастило и спречило мрљање и друге промене обојења. Некима је потребно и парење да би се фиксирала боја/мастило. Прекомерна употреба воде постала је проблем за животну средину, а са растом дигиталног штампања текстила, расте и потрошња воде, што захтева прелазак на технологије штампања које не захтевају испирање и/или прање, као што је коришћење пигментних боја/мастила (Romano, 2016).

Посебна пажња посвећена је бојама/мастилима која елиминишу отпад, емисије и смањују потрошњу енергије у производњи, елиминишу или смањују испарљива органска једињења (VOC). Боје/мастила на бази воде су углавном јeftинија, смањују загађење ваздуха, имају мање растварача, смањују ризик од пожара, производе мање мирисних испарења и лакше их је испрати на опреми за штампање и обезбеђују мање зачепљење млазница (Tawai, Kofi Howard et Asinyo, 2016).

Стварни удео трошкова воде и потрошње и повезани трошкови енергије за сушење су високи. Штавише, вода постаје главна брига текстилне индустрије која се суочава са све већом оскудицом воде и неким изазовима са строжим прописима који регулишу одрживост и пословну праксу у заштити животне средине. Индустрија штампања текстила још увек има обавезу да смањи свој еколошки отисак и ограничи потрошњу природних ресурса (воде и енергије). Да би се решили недостаци традиционалног штампања, постоји хитна потреба преласка на дигитално штампање. Када се користе дигиталне технологије, потрошња воде се значајно смањује (преко 60%), с тим повезане уштеде топлотне енергије су преко 70%, а употреба електричне енергије мања је за 30% у поређењу са конвенционалним штампањем ротационим шаблонима. Додатно, количина отпадне воде опада и потребан простор за извођење штампања се знатно смањује (Van Parys, 2018).

Нови интегрисани системи за индустријско дигитално штампање текстила нуде значајне погодности у погледу утицаја на животну средину и поштовања закона, прописа, сертификата и рестриктивних спецификација које постављају купци и брендови у модној индустрији. Они показују предности над класичним технологијама штампања текстила у погледу еколошког отиска угљеника и потрошње воде (смањење обима отпадних вода и смањење енергије потребне за процес грејања воде) (Epson, 2019).

Производња штампаних материја је такође битна за животну средину и експлоатацију ресурса. Одговорно руковање ресурсима, као што је енергија, вода и ваздух и два најважнија примарна производа боја/мастило и супстрати, као и друге супстанце, један је од најважнијих задатака штампарске индустрије, произвођача система штампања, индустрије подуговарача и организација за одлагање отпада. До данас су у штампању текстила примењене многе успешне мере заштите животне средине (Kirphan, 2001).

БУДУЋНОСТ INK JET ШТАМПАЊА ТЕКСТИЛА

Током последњих 30 година дигитално штампање се развило од механизма који се користи за убрзавање процеса узорковања до ексклузивног алата који се користи на тржишту где се могу апсорбовати његови високи трошкови (Briggs-Goode, 2013).

Напредак *ink jet* технологије револуционарно је променио индустрију штампања текстила. Ова револуција биће употпуњена само квалитетним еколошки прихватљивим бојама које су применљиве на све супstrate и могу понудити врхунска колористичка својства (Tawai, Kofi Howard et Asinyo, 2016).

Технологија дигиталног штампања текстила ће стално расти, како у области штампања тканина великих серија, тако и у области штампања тканина малих серија (Fibre2Fashion, 2005).

Постоје одређена ограничења у различитим аспектима *ink jet* штампања: брзина штампања, питања трошкова, заштите здравља и животне средине, уједначености штампаног филма и материјала и карактеристика млаза флуида, што су, свакако питања која ће се разматрати у будућности (Epson, 2019).

Данашња тржишта се брже мењају, а купци постају све захтевнији. Дигитално *ink jet* штампање текстила отвара врата новим могућностима и ствара нова тржишта. У дигиталној штампи може бити готово неограничен број боја у дезену. Време дизајнерског циклуса се смањује и може се обавити израда узорака

одмах. Способност економичне кратке производње омогућава смањење залиха. Дигитално штампање текстила омогућава производњу робе и услуга које одговарају потребама појединачних купаца. Купци увек траже брже, боље и јефтиније. Све три области ће напредовати како ново тржиште дигитално штампаног текстила расте. Квалитет штампе ће се побољшати и опсег боја повећати, машине ће постати брже и трошкови штампе ће се смањити. Брзина *ink jet* штампача у великој мери зависи од броја и радне фреквенције млазница главе штампача. Продуктивност се може мерити брзином којом се боја/мастило може нанети, тако да више млазница и бржи млаз могу произвести већу брзину штампања. Побољшања у квалитету обојења постићи ће се мањим величинама капљица. Проширени опсег боја постићи ће се бољим технологијама штампања и применом пигмената. Како се смањују трошкови штампе, тржиште ће брже расти. Дигитално штампање текстила неће заменити сито штампање у ближој будућности, тако да ће две технологије коегзистирати. Софтвер и технологија боја/мастила ће се побољшавати (Ујие, 2006).

ЗАКЉУЧАК

Дигитално штампање текстила отворило је нове могућности за дизајнере, конфекционаре и продавце. Различити производи текстилне индустрије могу се произвести дигиталним штампањем, укључујући бројне примене специјалне штампе, ограничене једино маштом.

Најчешће примењивана технологија дигиталног штампања текстила – *ink jet* – бележи раст на светском нивоу, што је постигнуто паралелним развојем боја/мастила, технологија штампања/софтвера управљања бојама, супстрата и нових подручја примене. То омогућава да се производи широк спектар обојења и финији квалитет штампе, у кратком времену и на различитим супстратима, што обезбеђује висок ниво квалитета и примена у области модног дизајна, текстила за домаћинство и техничког текстила.

Све више компанија са традиционалним штампањем текстила окреће се предностима дигиталног штампања, које укључује могућности прилагођавања, одрживости материјала, квалитета производа, шири спектар и побољшану естетику дизајна, испоруке на захтев и тачно на време/скраћење времена испоруке, ефикасност радног тока, велико смањење трошкова и елиминисање отпада.

Напретком у области софтвера, хардвера и хемијских технологија, заједно са активним истраживањима хемичара текстила за развој универзалног сета боја/мастила погодних за дигитално *ink jet* штампање на текстилним материјалима различитог сировинског састава, очигледно је да ће дигитално штампање текстила у будућности заузети још значајнију позицију у штампању текстила.

ЛИТЕРАТУРА

Lazić, B. Popović, B. et Poznanović, S. „Transfer printing of textiles”, in: *First International Conference – SmartArt – Art and Science Applied „From Inspiration to Interaction“*, Belgrade, Serbia, November 28–30, 2019, Ed. M. Prosen, Faculty of Applied Arts, Belgrade, 2019, 452–462.

Briggs-Goode, Amanda. *Printed textile design*, Laurence King Publishing Ltd, London, UK, 2013.

Bronstein, Rafi. “Inkjet Technology and Inkjet Printing”, December 17, 2017. <https://fayllar.org/inkjet-technology-and-inkjet-printing-rafi-bronstein.html>. [приступљено 12.06.2020].

Cie, Christina. *Ink Jet Textile Printing*, Woodhead Publishing, Cambridge, UK, 2015.

„Global Digital Textile Printing Market“, Allied Market Research, <https://www.allied-marketresearch.com/press-release/digital-textile-printing-market.html>. [приступљено 12.01.2021].

Epson, „Excellence and productivity in digital textile printing, Total Solution for textiles. Netherlands. https://www.monnalisadtp.eu/files/bro_Total%20Solution_eng_jul19_def.pdf. [приступљено 15.02.2021].

„Epson na sajmu FESPA Digital u Amsterdamu“, 15. marta 2016. <http://www.ictvesti.com/epson-na-sajmu-fespa-digital-u-amsterdamu/>. [приступљено 16.08.2020].

„Digital Textile Printing Market“, Future Market Insights, 2. April 2019, <https://www.futuremarketinsights.com/reports/digital-textile-printing-market>. [приступљено 12.01.2021].

Fibre2Fashion, „The New Wave of Digital Fabric Printing Technology“, August 2005. <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/41/the-new-wave-of-digital-fabric-printing-technology>. [приступљено 12.06.2020].

„Industrijska digitalna štampa na tekstilu“, 22. decembar 2016. <http://www.ictvesti.com/industrijska-digitalna-stampa-na-tekstilu/>. [приступљено 22.10.2020].

Jamil, Syeda Amna et al. “Effect of Sodium Sulphate on Colour Strength and Dye Fixation of Digitally Printed Cellulosic Fabrics”, 2014. https://www.academia.edu/39609056/Effect_of_Sodium_Sulphate_on_Colour_Strength_and_Dye_Fixation_of_Digitally_Printed_Cellulosic_Fabrics. [приступљено 02.06.2020].

Kašiković, Nemanja, Vladić, Gojko i Novaković Dragoljub. “Textile printing – past, present, future”, *Glasnik hemičara, tehnologa i ekologija Republike Srpske*, vanredno izdanje, novembar 2016, 35–46.

Khan, Saleem, Lorenzelli, Leandro et Dahiya, Ravinder S. “Technologies for Printing Sensors and Electronics Over Large Flexible Substrates: A Review”, *IEEE Sensors Journal*, 2014, 1–22.

Keeling, M. R. “Ink jet printing”, *Physics in Technology* 12/5, 1981, 196–203.

Kipphan, Helmut. *Handbook of print media, technologies and production methods*. Springer, Berlin, Germany, 2001.

Lazić, Branislava. *Tehnologija štampanja tekstila*, autorizovana predavanja, DTM, Beograd, 2016.

Lechêne, Robert. “Printing”, <https://www.britannica.com/topic/printing-publishing>. [приступљено 15.02.2021].

Parys, M. Van. “Digital printing for the Textile Factory of the Future”, in: *5th International Digital Textile Congress, Ghent, Belgium, 27–28. Septmber 2018*, 1–16. https://www.digitaltextilecongress2020.be/files/users/DTC18_report_LR.pdf. [приступљено 25.01.2021].

Miles, Leslie W. C., *Textile Printing*, Revised Second Edition, Society of Dyers and Colourists, Bradford, UK, 2003.

Nayak et al. “A review on inkjet printing of nanoparticle inks for flexible electronics”, *Journal of Materials Chemistry C*, 2019, Issue 29. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/tc/c9tc01630a/unauth#ldivAbstract>. [приступљено 17.11.2020].

Ocepek, Barbara et al. “Printing of antimicrobial microcapsules on textiles”, *Coloration Technology* 128, 2011, 95–102.

„Otvoren studio za štampu na tekstilu za sve dizajnere i studente dizajna“, 6. jul 2017. <http://www.ictvesti.com/otvoren-studio-za-stampu-na-tekstilu-za-sve-dizajnere-i-studente-dizajna/>. [приступљено 16.08.2020].

PeractoJet, „Ink for digital printing on fabrics“, Farben Punkt, April 2019. <https://www.farbenpunkt.com/our-technology/>. [приступљено 25.01.2021].

Petricin, Irena, Šostar-Turk, Sonja i Neral, Branko. „Digital textile printing“, *Tekstil* 50/7, 2001, 351–356.

Romano, Richard. “The growing world of digital textile printing”, Jun 2016. <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/7756/the-growing-world-of-digital-textile-printing>. [приступљено 11.11.2020].

Schönberger, Harold et Schäfer, Thomas. *Best available technologies in textile industry*, Federal Environmental Agency, Berlin, Germany, 2003. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2274.pdf>. [приступљено 25.02.2016].

Soleimani-Gorgani, Atasheh., “Inkjet Printing”, in: *Printing on Polymers Fundamentals and Applications*, Ed. J. Izdebska, S. Thomas, Elsevier, Oxford, UK, 2016, 231–241. <http://docplayer.net/120772092-Printing-on-polymers.html> 231–241. [приступљено 11.11.2020].

Tawai, Benjamin, Kofi Howard, Ebenezer et Asinyo, Benjamin K. “The chemistry of inkjet inks for digital textile printing – Review, *BEST: IJMITE* 4/5, 2016, 61–78.

Textile World, “Digital Textile Printing: Explosive Growth Continues”, February 28, 2018. <https://www.textileworld.com/textile-world/features/2018/02/digital-textile-printing-explosive-growth-continues/>. [приступљено 11.11.2020].

Tyler, David James. “Digital printing technology for textiles and apparel”, in: *Computer Technology for Textiles and Apparel*, Ed. J. Hu, Woodhead Publishing Series in Textiles,

Cambridge, UK, 2011, 259–282. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/inkjet-printing-technology>. [приступљено 25.01.2021].

Ujii, Hitoshi. *Digital Printing of Textiles*, Woodhead Publishing, Cambridge, UK, 2006. https://www.academia.edu/39609056/Effect_of_Sodium_Sulphate_on_Colour_Strength_and_Dye_Fixation_of_Digitally_Printed_Cellulosic_Fabrics. [приступљено 02.06.2020].

Yamada, Takahiro et al. *Micro-dot ink jet recorder*, United States Patent 4746928, 1988. <https://www.freepatentsonline.com/4746928.html>. [приступљено 12.06.2020].

СКРАЋЕНИЦЕ

CD-ROM – компакт диск само за читање (compact disc read-only memory)

CIJ – континуирани *ink jet* систем (*Continuous Ink Jet*)

СМУК – субтрактивни модел боја (*Cyan, Magenta, Yellow, Key (Black)*)

DOD – отпуштање капљица на захтев (*drop-on-demand*)

HP – HewlettPackard

n.d./н. д. – not defined/није дефинисано

п.н.е. – пре нове ере

PIJ – пиезоелектрични млаз (*Piezoelectric Ink Jet*)

PVC – поливинилхлорид

RIP – процесор за растерску израду слике (*Raster Imaging Processor*)

TIJ – термички млаз (*Thermal Ink Jet*)

VOC – *испарљива органска једињења (Volatile Organic Compounds)*

Branislava B. LAZIĆ, Biljana B. POPOVIĆ, Snežana T. POZNANOVIĆ

DIGITAL TEXTILE PRINTING

In order for a textile product to be successful on the market, at least three basic conditions need to be harmonized: fashion requirement (design / color / actuality), fibers type and materials and objects construction and finishing effect which, among other textile finishing processes, includes printing.

Printing of textile materials means making pattern (design) in one or more colors, that are shades, on various textile materials of different processing degrees, different technological processes / methods, using different techniques, that are tools / machines. It is a process that combines design ideas, one or more colors and a textile substrate, where a number of factors affect the accuracy of color application.

Digital textile printing has become popular in the 21st century, which inevitably led to a wider collaboration between technologists and designers. However, high-speed ink jet machines, competitive screen or engraved rollers printing, have not yet been commercialized. In recent years, intensive work has been done on the development of commercial machines, the development of environmentally friendly inks suitable for digital ink jet printing on various raw textile materials, improvements of color application proceedings and color fastness and the development of software system design, which has led to the expansion of the scope of application and achievable goals, primarily the application of digital printing on a large number of different substrates in terms of structure and raw material composition and achieving satisfactory quality of the design and the color itself, all according to customer requirements.

The paper discusses the digital printing, primarily ink jet printing, as the most applied digital printing technology, its advantages and disadvantages and its impact in textile design, in terms of re-adjusting conventional design – saving time and materials by applying digital design, thus eliminating time-consuming and expensive sampling – and creating new views in design, bearing in mind that digital technology printing did not affect the design style, but was used to speed up the design process. The consequence is that creators can maintain a higher level of design quality and aesthetics by continuously correcting the design in the printing process. Thanks to digital printing, the design of printed textiles has become more universal in its application and function.

Key words: digital printing, *ink jet*, textiles printing.