

## Printing and design in the processes of textile inkjet printing

Review

Received September 2007 • Accepted January 2008

### Abstract

*This paper reviews the current and future trends of textile digital ink-jet printing, and compares the production costs of different ink-jet and screen printing technologies. Different types of modern ink-jet printers are discussed. The digital design process and the parameters for transferring ink-jet printing technology to screen printing processes are described in this paper.*

*Key words: textile printing, digital printing, ink-jet textile printing, screen printing, CAD CAM system, design.*

### Introduction

*Textile printing production has increased steadily since 1997, as depicted in Fig. 1.1 [1, 2], with approximately 60 billion m<sup>2</sup> of printed textile being digitally printed this year [3]. For comparison, the yearly production of printed textile in 2000 was 26 billion m<sup>2</sup> [1, 4].*

*The world production of textile printing in 2004 was estimated to be 31 billion m<sup>2</sup>, with most printing occurring in China, Taiwan, and Japan (Fig. 1.2) [1, 5, 6].*

---

*Vodilni avtor/corresponding author:*  
**dr. Petra Forte**  
tel.: +386 1 200 32 93  
e-mail: petra.forte@ntf.uni-lj.si

---

Mašenka Mikuž<sup>1</sup>, Sonja Šostar-Turk<sup>2</sup>, Petra Forte-Tavčer<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Julon d. d. Proizvodnja poliamidnih filamentov  
in granulatov

<sup>2</sup>Laboratorij za obdelavo in preskušanje polimernih  
materialov, Oddelek za tekstilne materiale in oblikovanje,  
Fakulteta za strojništvo, Univerza v Mariboru

<sup>3</sup>Oddelek za tekstilstvo, Naravoslovnotehniška fakulteta,  
Univerza v Ljubljani

## Tiskanje in dezeriranje v procesu brizgalnega tiska tekstilij

**Pregledni znanstveni članek**

Poslano september 2007 • Sprejeto januar 2008

### Izvleček

V članku je prikazan pregled in trendi svetovne proizvodnje tekstilnega tiska, razvoj brizgalnega tiska tekstilij, primerjava tehnologije brizgalnega in filmskega tiska tekstilij in stroškovna primerjava. Predstavljene so vrste sodobnih digitalnih tiskalnikov. Razložen je potek digitalnega oblikovanja vzorcev in način prenosa v klasični filmski tisk.

**Ključne besede:** tiskanje tekstilij, digitalni tisk, brizgalni tisk tekstilij, filmski tisk, CAD CAM sistem, dezeriranje

### 1 Uvod

Obseg proizvodnje tekstilnega tiska je bil v zadnjih 20 letih najmanjši leta 1997, od tega leta naprej pa vztrajno narašča (sl. 1.1) [1, 2]. Kot kažejo nekatere raziskave je bilo v tem letu tekstilij tiskanih z digitalnim tiskom kar 60 milijonov m<sup>2</sup> [3]. Leta 2000 je letna proizvodnja tekstilnega tiska znašala že okoli 26 milijard m<sup>2</sup> tiskanih tekstilij [1, 4].

Ocena letne svetovne proizvodnje tekstilnega tiska za leto 2004 znaša približno 31 milijard m<sup>2</sup> tiskanih tekstilij, največ tekstilij pa je bilo potiskanih v Aziji (Kitajska, Tajvan, Japonska) (sl. 1.2) [1, 5, 6]. Najnovejše študije kažejo, da se bo v prihodnjih nekaj letih delež brizgalno tiskanih tekstilij povečal na 7–10 % [7, 8], tj. 2–2,4 milijarde m<sup>2</sup> tiskanih tekstilij. Napredni sistemi za brizgalno tiskanje, že pravi industrijski stroji za brizgalno tiskanje, danes dosegajo hitrosti tiskanja 150–200 m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup> [9]. Ta hitrost ne dosega običajne hitrosti tiskanja na avtomatiziranih strojih za rotacijski filmski tisk,

In coming years, ink-jet printed textiles are estimated to increase to 7 to 10% [7, 8]. Today, ink-jet printing systems are capable of printing speeds of 150 to 200 m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup> [9]. Although rotary screen printing machines are much faster, about 1000 to 2000 m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup>, ink-jet printing systems have already displaced many screen printing machines in some printing factories in Europe [10].

The advantage of the ink-jet printing technology over screen printing technology is that there is no need for the preparation of printing pastes and screens, which decreases printing costs by as much as 66%, and shortens collection production times [10, 11, 12]. Using modern CAD (computer-aided design) and CAM (computer-aided manufacturing) software applications coupled with ink-jet printers, digitally produced designs can be directly transformed to the textile surface. The image on the textile surface is composed of droplets of four or more dyes. For textile ink-jet printing, large storage areas are not needed to preserve the designs since the design data are digitally stored. [11].

Contemporary digital printing technology enables inexpensive short-length printing on the order of 100 to 1000 m, and is why coupons are produced in traditional printing mills [10, 13]. Coupons represent a crucial phase for the designing of a new collection, since usually half the production time is usually needed for screen preparation and coupon printing [10]. Digital technology removes the screen preparation time, reducing the production time by approximately 75% [11, 12], [10]. Approximately 30% to 50% of all coupons are printed by successful companies that also produce the textiles for equipment interiors. [14].

Companies that are able to offer more original and exclusive designs are generally more successful than companies whose products are not unique enough to be distinguished from the competition [13, 15]. Further, since 1989, printing lengths have consistently decreased, and today the typical printing length in Europe is 500 m<sup>2</sup> for a colourway [13, 14, 16]. For such short lengths, digital printing is preferable since it enables less expensive printing (Fig. 1.3) [17].

Most printing factories prepare sample print prototypes of designs in different colour combinations, which cost from \$90 to \$110 each

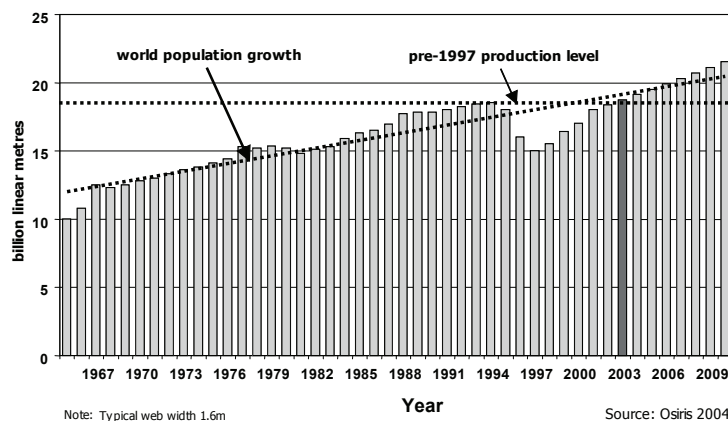


Figure 1.1: World trends in textile printing output [1].

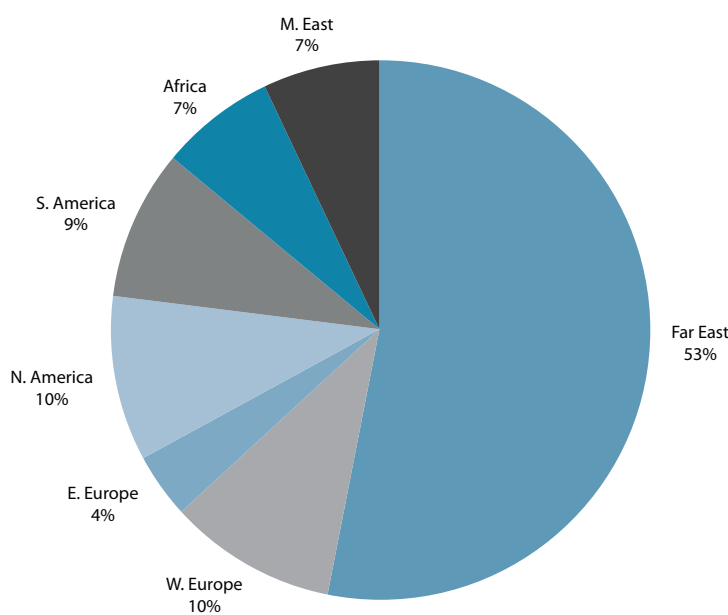


Figure 1.2: Estimated world production of textile printing in 2004 [1].

ki znaša 1000–2000 m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup>, vendar so v Evropi ponekod s sistemi za brizgalno tiskanje že uspešno zamenjali stroje za ploski filmski tisk [10].

Sodobna tehnologija digitalnega brizgalnega tiskanja nam v primerjavi s klasično tehnologijo filmskega tiska ponuja pomembno prednost, saj nanos barvila poteka brez priprave tiskarskih barvnih gošč in uporabe šablon, kar zniža stroške tiskanja (za dve tretjini) in skrajša čas potreben za tiskanje in realizacijo kolekcije [10, 11, 12]. S pomočjo sodobnih programskih orodij CAD CAM in brizgalnih tiskalnikov se lahko digitalna informacija neposredno prenese na površino tekstilnega substrata. Odtis na površini substrata tvorijo kapljice štirih (CMYK) ali več barvil. Hranjenje in arhiviranje osnovnih predlog dezerov ne zahtevata velikih odlagalnih skladiščnih površin, saj so podatki shranjeni na nosilcu podatkov v digitalni obliki [11].

[11, 15, 18]. Additionally, on average, individual screens and colours cost an extra \$260 and \$415, respectively. Usually, only one design among as many as four or five samples will be selected for further production [11, 13, 18]. The aforementioned advantages of digital ink-jet printing offers the potential for cheaper sample printing. Digital ink-jet printing consumes 70% less dye, 50% less energy, and 70% less water than screen printing [10].

Ink-jet printing is computer controlled and offers more advantages in collection design by increasing the design capacity, increasing the number of samples and collections in a season, permitting the fast exchange of colours in a pattern with minimal fabric waste, the electronic archival of designs, and an unlimited selection of colours. CAD CAM software enables unlimited correcting, the easy changing of colours, and the ability to add motives [19]. Further, screen dimension does not impede the repetition or change of designs [20]. Ink-jet printing textile design time has proven to be 50% shorter compared to traditional methods as a result of the ability to quickly change colours and correct patterns [13, 21, 22].

### 1.1 Comparison of printing costs

Ink-jet printing technology can produce more designs, in a shorter time, and at a lower cost compared to classical printing technology. Production costs are composed of different cost groups [23], and consist of dyes, chemicals, laboratory and testing materials, water, energy, business areas, recycling, and the disposing of waste products. The entire printing length influences the price of a running meter of printed fabric. Increasing the total printing length decreases the cost of printing, as depicted in Figure 1.5 [9, 10].

Rotation screen printing machines print faster compared to ink-jet printers; however printing paste and machine preparation requirements contribute to a much longer preparation time for the former. Further, screens cost 150 and the printing pastes have an associated cost of \$1 per kg for paste pigment and \$2 per m<sup>2</sup> of fabric [23]. According to the literature, that the following costs are associated with printing on rotation screen printing machines [24]:

- Designing (up to 3 m) \$57 per m<sup>2</sup>,

Danes je v ospredju predvsem kot tehnologija, ki omogoča tiskanje krajših dolžin tekstilij (100–1000 tekočih metrov) z nizkimi stroški, zato je izredno pomembna tudi za izdelavo kuponov v tradicionalnih tekstilnih tiskarnah [10, 13]. Kuponi tu predstavljajo ključno fazo pri oblikovanju nove kolekcije, saj se kar polovico časa porabi za pripravo šablon in tiskanje kuponov [10]. Z uporabo digitalne tehnologije se ta priprava lahko bistveno skrajša (za tri četrtine) [11, 12], čas tiskanja se skrajša s 3 tednov na 2 dni [10]. Na ta način tiskajo kar 30 % do 50 % vseh kuponov v enem od podjetij, ki izdeluje tekstilije za notranjo opremo [14].

Podjetja, ki ponudijo več izvornih in ekskluzivnih dezenov, so v splošnem uspešnejša od tistih, katerih izdelki se bistveno ne razlikujejo od konkurenčnih produktov [13, 15]. Poleg tega pa je v svetu od l. 1989 dalje opazen trend po zmanjševanju količin potiskanega dezena [13, 14]. Tipična dolžina v Evropi znaša 500 m<sup>2</sup> za kolorico [16]. Pri tako kratkih dolžinah prihaja v ospredje digitalna tehnologija tiskanja, ki omogoča tiskanje tekstilij po ugodnejši ceni in z manjšimi stroški (sl. 1.3) [17].

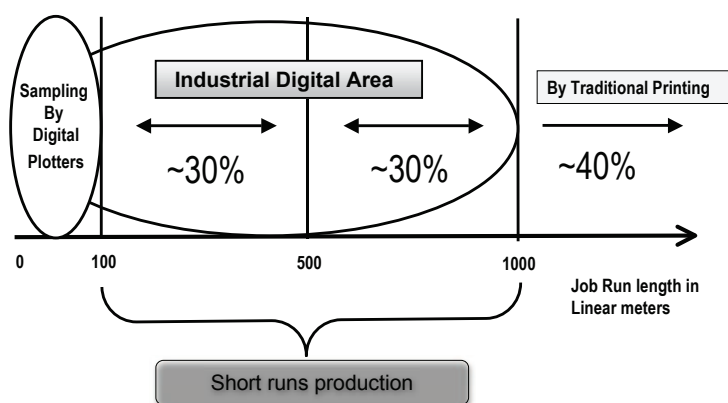


Figure 1.3: Profile of the industrial production of textile printing [10].

Večina podjetij pripravlja za promocijske in prodajne namene vzorčne primere (prototipe) tiskanega blaga v trendovskih dezerih v najrazličnejših barvnih kombinacijah. Tak vzorčni kos blaga stane med 90 US\$ in 110 US\$ [11, 15, 18]. Temu pa je potrebno dodati še med 260 US\$ in 415 US\$ za posamezno šablono oz. barvo in upoštevati dejstvo, da je običajno izbran med 4 ali 5 vzorčnimi primeri le en dezer, ki gre v nadaljnjo produkcijo [11, 13, 18]. Pri tovrstnih obremenitvah v panogi je ustvarjanje dobička zelo težavno, zato se pojavlja vedno večje zanimanje za tehnologijo brizgalnega tiskanja, ki ponuja nove možnosti. Poraba barvil je manjša kar za 70 %, poraba energije za 50 % in poraba vode za 70 % [10]. Tehnologija brizgalnega tiska je računalniško vodena, zato lahko nudi več prednosti v fazi oblikovanja kolekcije, kot so: povečanje oblikovalskih kapacitet, izdelava večjega števila vzorcev in kolekcij v sezoni, hitro menjavanje barv v dezerih z minimalno izgubo tkanine, elektronsko arhiviranje dezerov, vizualno neomejeno šte-

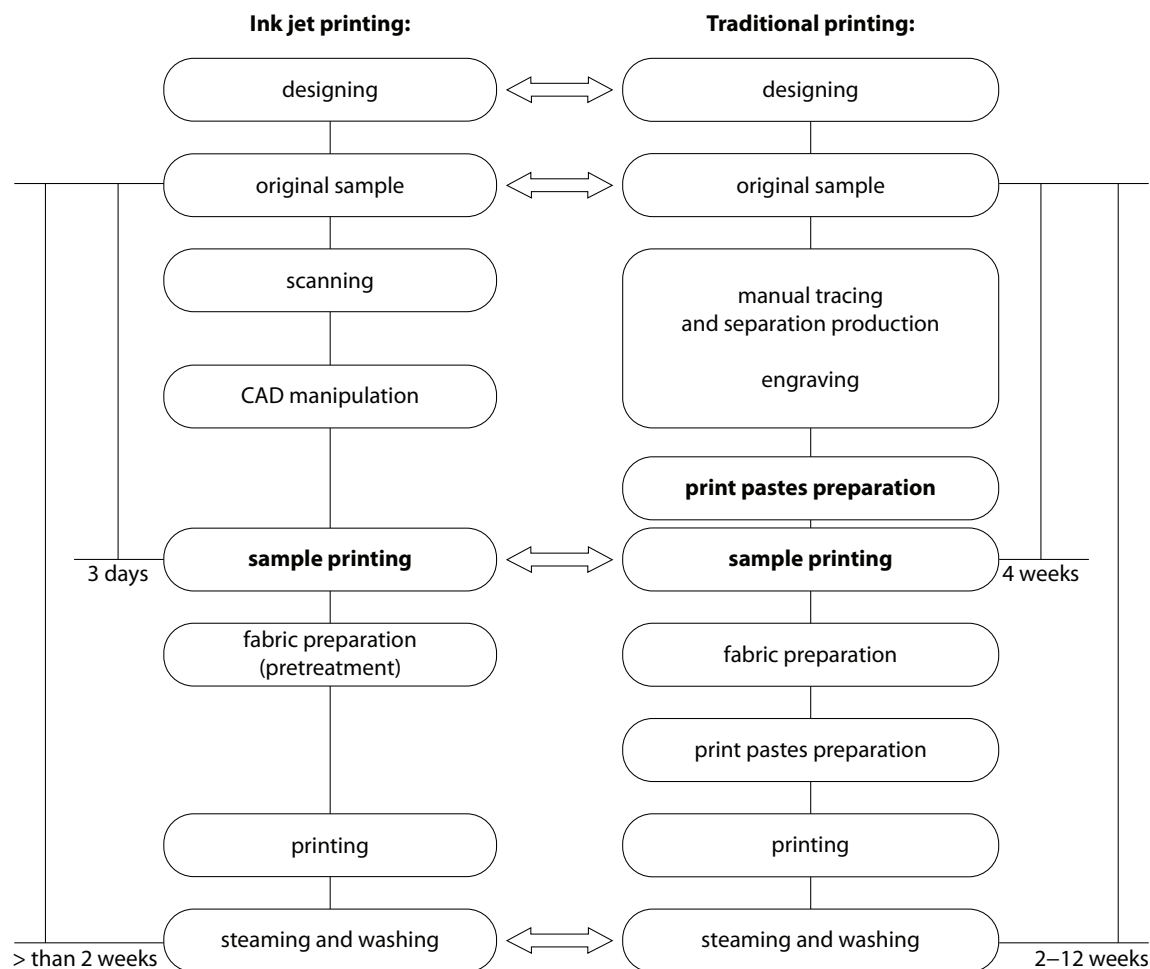


Figure 1.4: Screen printing processes compared to ink-jet printing processes [11].

- Coupons (up to 30 m) \$5,8 per m<sup>2</sup>,
- Collection (up to 100 m) \$1,9 per m<sup>2</sup>,
- Production (up to 300 m) \$0,7 per m<sup>2</sup>.

The highest cost associated with rotation screen printing is the design, whereas at for ink-jet printing, design costs are considerably lower [10]. Figure 1.5 demonstrates that classical printing becomes cheaper when more than 800 m [10] are printed.

## 2 The development of ink-jet technology for textile printing

The first trials of textile ink-jet printing can be credited to Textima, a German company that patented the first ink-jet printer in 1970 [25]. Their initial research was followed by a series of products from competitive companies in the

vido barvnih tonov, itd. CAD CAM sistemi s sodobno programsko opremo omogočajo neomejeno popravljanje, spreminjanje barv in dodajanje motivov, vse pa poteka na računalniškem zaslonu [19]. Omogočene so različne postavitve raporta in spreminjanje dimenzij dezena brez omejitve z velikostjo šablone [20]. Nekatere raziskave kažejo, da je postopek oblikovanja celo do 50 % krajši, na račun hitrega spreminjanja barv in korekcij dezenov, ki potekajo neposredno na računalniškemu zaslonu [13, 21, 22].

### 1.1 Primerjava stroškov tiskanja

S pomočjo brizgalne tehnologije tiskanja lahko natiskamo več raznolikih dezenov v krajšem času in z nižjimi stroški kot s klasično tehnologijo tiskanja. Pomemben faktor pri tiskanju dezenov s klasično tehnologijo tiskanja je strošek izdelave dezena. Stroške proizvodnje sestavljajo različne stroškovne skupine [18, 23], kot so: barvila, kemikalije in tekstilna pomožna sredstva; laboratorijski, delovni in testni material; voda in energija; kapital, poslovni prostori in drugi fiksni stroški; ostanki barvil (recikliranje, odlaganje

United States (Milliken, 1981, carpet printing [1]), Austria (Peter Zimmer), and Australia (CSIRO) [11, 26]. The printers were technologically different, but all similarly produced products with quality that failed to compare with contemporary printing methods. Ink-jet systems were further developed after 1991, when large companies decided to cooperatively develop and improve the quality of ink-jet printing technology. The first system that utilised impulse thermal technology was developed by Canon, Kanebo, and Toshin Kogyo in 1991 [11, 18]. Ciba Specialty Chemicals (Switzerland), specialising in dyes, Sophis Systems (Belgium), specialising in CAD CAM software, and Mimaki (Japan), specialising in ink-jet printing machines, combined their resources in 1998 to further develop this technology [11].

Ink-jet printing technology has developed considerably since 1997, and correspondingly, so has its usage in production systems. As depicted in Figure 2.1, the annual sale of bubble-jet thermal printers is decreasing while the sale of low cost piezo systems is increasing. Additionally, the usage of high cost piezo systems has increased since 2003. Ultraviolet (UV) fixation technology was first introduced in 2002, and has since seen a gradual increase in application (Fig. 2.1).

Ink-jet systems can be classified into three groups, corresponding to their capacity, printing speed, and cost (Fig. 2.2) [1, 27].

Ink-jet printers with increased printing speeds from  $50 \text{ m}^2\text{h}^{-1}$  to  $200 \text{ m}^2\text{h}^{-1}$  appeared on the market in 2003 [1]. These systems enabled the printing of different textiles, such as knitted and woven fabrics, with dyes of different chemical structures. These modern ink-jet printers are approaching the production capacity of rotation screen printing techniques, and are therefore classified as an expensive class printer (Fig. 2.3) [9].

Ink-jet printers intermediately priced between cheap and the aforementioned expensive systems and are capable of printing speeds from 20 to  $100 \text{ m}^2\text{h}^{-1}$  Fig. 2.4) [27, 28].

The printers shown in Fig. 2.4 are capable of the following printing speeds: Aiona 8-16/1600<sup>®</sup>,  $10 \text{ m}^2\text{h}^{-1}$  and  $\text{m}^2\text{h}^{-1}$ ; Nassenger-V<sup>®</sup>, 23 to  $60 \text{ m}^2\text{h}^{-1}$  [27]; Dupont Artistri<sup>®</sup>, 0 to  $60 \text{ m}^2\text{h}^{-1}$ ; and the Robustelli Mona Lisa<sup>®</sup>, 26 to  $78 \text{ m}^2\text{h}^{-1}$ .

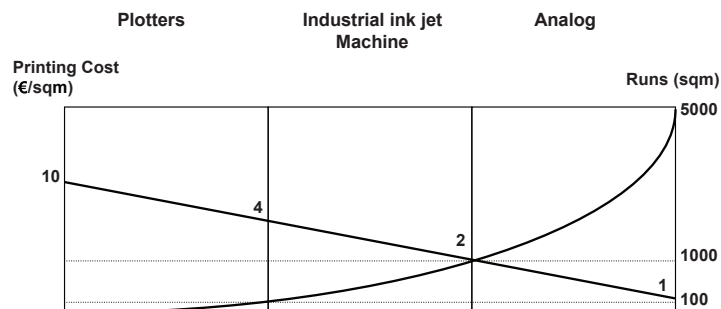


Figure 1.5: A comparison of ink-jet and screen printing process costs [9].

odpadkov), je očitno, da ima celotna tiskana dolžina bistven vpliv na ceno tekočega metra tiskanega izdelka. Z naraščanjem skupne tiskane dolžine strošek tiskanja pada [10], kot je razvidno na sliki 1.5 [9].

Hitrost tiskanja na stroju za rotacijski filmski tisk je večja kot pri brizgalnem tisku, vendar moramo upoštevati predvsem čas potreben za izdelavo tiskarskih barvnih gošč ter čas za pripravo stroja za tiskanje (namestitvev tkanine v dovajalni sistem stroja, priklop stroja in sušilne mansarde, pritrditev tkanine na tiskarsko podlago, namestitvev šablon, doziranje tiskarske barvne gošče v tiskarski stroj, čiščenje ob menjavi šablon, itd.), ter stroške izdelave šablon, kar je ca. 150 EUR na šablono in stroške izdelave tiskarskih barvnih gošč, kar je pri pigmentih ca. 1,00 US\$/kg, in stroške uporabljenih tkanin, kar je ca. 2,00 US\$/m<sup>2</sup> [23].

Raziskave kažejo, da so stroški tiskanja na stroju za rotacijski filmski tisk sledeči [24]:

- vzorčenje (do 3 m) 57 US\$ za 1 m<sup>2</sup>,
- kuponi (do 30 m) 5,8 US\$ za 1 m<sup>2</sup>,
- kolekcija (do 100 m) 1,9 US\$ za 1 m<sup>2</sup>,
- proizvodnja (do 300 m) 0,7 US\$ za 1 m<sup>2</sup>.

Najvišji stroški pri tiskanju na strojih za rotacijski tisk so pri vzorčenju, za razliko od brizgalnega tiska, kjer je strošek pri vzorčenju oziroma tiskanju tekočega metra tkanine bistveno manjši [10]. Iz slike 1.5 je razvidno, da klasični tisk postane cenejši šele pri tiskanju nad 800 t.m. [10] oz. 1000 t.m.

## 2 Razvoj brizgalne tehnologije tiskanja tekstilij

Prve poskuse brizgalnega tiskanja tekstilij pripisujejo vzhodnonemškemu podjetju Textima, ki je leta 1970 patentiralo prvi brizgalni tiskalnik [25]. Tej začetni raziskavi je kmalu sledil niz produktov konkurenčnih podjetij iz ZDA (Milliken: 1981, tiskanje preprog [1]), Avstrije (Peter Zimmer) in Avstralije (CSIRO) [11, 26]. Tiskalniki so bili zelo različni, tiskani tekstilni izdelki pa niso dosegali zelene stopnje kakovosti. Povečan razvoj sistemov za brizgalni tisk je opazen po letu 1991, ko prihaja do združevanj velikih podjetij z namenom, da bi skupaj izboljšali kakovost brizgal-



The Virtu™ Printer\* (Fig. 2.5), a product of Leggett-Platt Digital Technologies and Spuhl AG, is the first high efficiency ink-jet printing system with an incorporated UV device for pigment print fixing, and is designed to print fabrics with a variety of applications, such as decorative cloth, bed linens, and personal apparel [28].

The Virtu™ Printer\* is capable of printing at a width of 2500 mm or 3500 mm, roll-to-roll or flat printing, utilises piezo DOD technology, has 36 heads, is capable of bi-directional printing, can print in 4 or 6 colours, has a resolution of 600 or 300 dpi, has an integrated UV fixing chamber, and can print at a speed of 43–58 m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup> using 6 colours or 150 m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup> using 4 colours. This system enables continuous UV fixing, wherein printed fabrics are directed from the printer directly into the UV fixing system. UV fixing decreases the printing process time substantially.

Today, ink-jet printers are ubiquitously used in the textile industry for:

- Carpet printing (low resolution 10 to 20 dpi),
- The design and printing of prototypes or coupons [29],
- Printing of all sorts of flat textiles (resolution 100 to 720 dpi, and widths from 30 to 160 cm), and
- Printing of decorative textiles, such as curtains and table covers (resolution 100 to 720 dpi, and widths up to 300 cm).

Ink-jet printers can be classified as a no-contact printer, synonymously known as a digital printer. Laser printers and thermal-sublimation printers also belong to the no-contact printer group. A basic classification of ink-jet printers is summarised in Fig. 2.6 [30].

## 2.1 The types of ink-jet printers

Ink-jet printers use either a continuous stream (CS) or an impulse jet (IJ) to apply droplets of inks onto a substrate.

### 2.1.1 Impulse printing techniques – DOD

IJ printers typically consume less energy and do not redundantly consume dye compared to CS printers. CS printers continuously deposit dyes, regardless of if dye is needed at that immediate moment. In contrast, IJ printers jet dye drops

negativno tiskanje. Tako se v letu 1991 pojavi prvi sistem z impulzno (DOD) termalno (bubble-jet) tehniko za brizgalni tisk (Canon, Kanebo, Toshin Kogyo) [11, 18]. Za razvoj brizgalnega tiska so takšne povezave pomembne tudi po letu 1997. Leta 1998 se povežejo trije proizvajalci Ciba Specialty Chemicals (Švica), Sophis Systems (Belgija) in Mimaki (Japonska) [11] na treh komplementarnih področjih, in sicer, barvila za brizgalni tisk, CAD CAM programska oprema ter strojna oprema za brizgalni tisk [11].

Tehnologija brizgalnega tiska se od leta 1997 pospešeno razvija, povečala pa se je tudi uporaba teh sistemov v proizvodnji. Kot je razvidno v diagramu (sl. 2.1), letna prodaja sistemov za termalni (bubble-jet) tisk upada, narašča pa uporaba piezo sistemov nižjega cenovnega razreda, od leta 2003 pa narašča tudi uporaba piezo sistemov visokega cenovnega razreda. Od leta 2002 pa se prične tudi uporaba sistemov s tehnologijo UV utrjevanja, ki postopoma narašča (sl. 2.1).

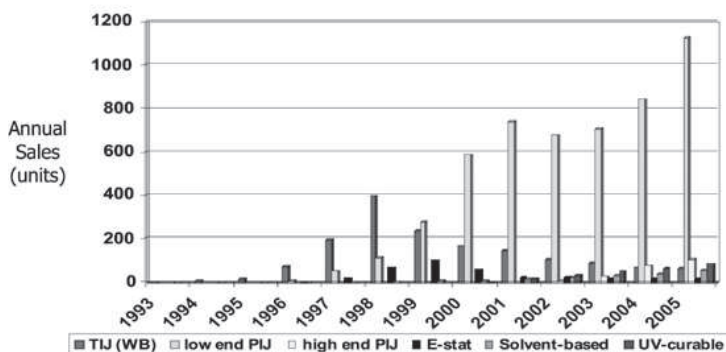


Figure 2.1: The yearly sale of the ink-jet systems [1].

Glede na zmogljivosti sistema, hitrost tiskanja in ceno se tehnologija brizgalnega tiska deli na tri skupine sistemov (sl. 2.2) [1, 27]: Načrtovanje in razvoj brizgalnih tiskalnikov z večjimi proizvodni-

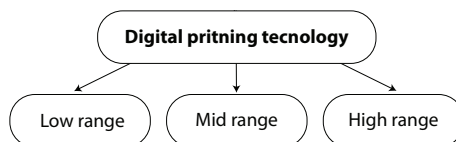


Figure 2.2: The distribution of ink-jet systems by cost.

mi zmogljivostmi, ki dosegajo hitrosti tiskanja od 50 m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup>–200 m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup> za direktno digitalno tiskanje tekstilij oz. za tisk transfernega papirja je privedlo do nove skupine visokozmogljivih sistemov oziroma strojev za digitalni brizgalni tisk, ki so se prvič pojavili na tržišču v letu 2003 [1]. Poleg povečane hitrosti ti novi sistemi podpirajo splošno aplikacijo barvil oziroma barvil z različnimi kemijskimi strukturami. Omogočajo tiskanje tako pletenih kot tkanih tekstilij. S temi sistemi, ki se uvrščajo v visok cenovni razred, se je brizgalna tehnologija približala proizvodnim zmogljivostim rotacijske filmske tehnike tiskanja (sl. 2.3) [9].

on demand (DOD), wherein each dye droplet is jetted onto an exactly defined place on the textile, meaning that only one dye droplet can be placed onto one point. The basic colour set for IJ printers consists of C-cyan, M-magenta, Y-yellow and K-black colour (CMYK). Additional colours, such as LC-light cyan, LM-light magenta, O-orange, G-green, B-blue, Gr-grey, R-red, and P-purple, are also used simultaneously with CMYK colours. The reproduction of colour for each pixel in a visual display unit using an IJ printer requires complex computation. Tiny drops of the separate CMYK inks are deposited together so as to form a superpixel. Superpixels are usually composed of a 4x4 matrix of dots, where the colour of the superpixel is represented by the relative proportions of the primaries in the individual pixels (Fig. 2.7) [31].

IJ printers are divided into either thermal-jets, bubble-jets, or piezos, which differ by the way the droplets are created. Today, piezo DOD technology is most commonly used in industry.

#### 2.1.1.1 Piezo printers

In piezoelectric systems, droplet ejection is mediated by a piezoelectric crystal, whereby an electric signal deforms the crystal and produces a pressure wave in the ink. Piezo printers can jet up to 120000 droplets per second. The electric signals can create forces that cause the piezo material to push, bend, or shear. Piezo printers are divided into three groups according to this mechanism.

Heads using a shearing system enable the use of more viscous inks (Figure 2.8a). Such printers are used for flat screen film production, where PVC pholie is covered with droplets of polymer, which harden and form a non-transparent surface. Further, piezo printing heads using a shearing system also enable different kinds of dyes to be printed on different substrates inexpensively at high speeds. The heads are reliable and have a long lifetime. The largest producers of such printing heads are Xaar, Shear, Spectra, Mechatron, Tektronix, Trident, Calcomp, and Dataproducts. Manufacturers that produce printers using shearing heads are Daniel Instruments, Raster graphic, ColorSpan, Polaroid, MIT, and Brother.

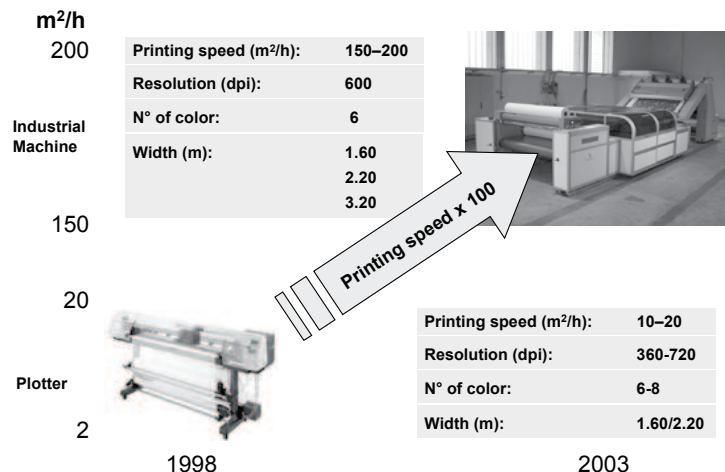


Figure 2.3: The comparison of ink-jet printing systems [9].

Med nižjim in visokim cenovnim razredom so brizgalni tiskalniki srednjega cenovnega razreda, ki dosegajo hitrosti od 20–100 m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup> (sl. 2.4) [27, 28].

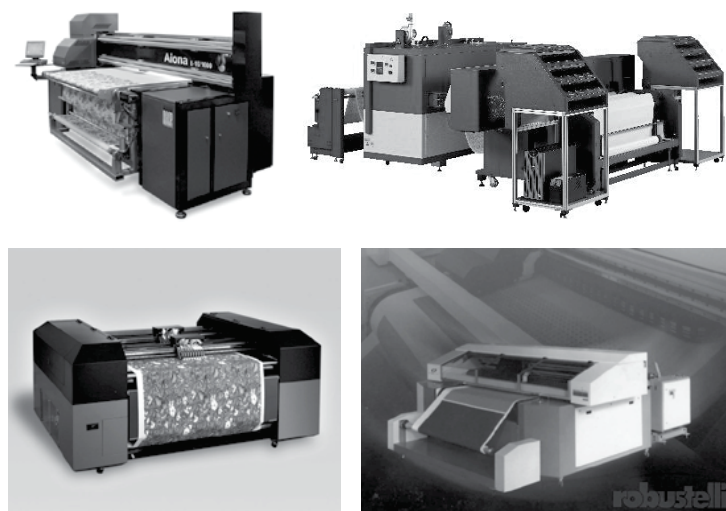


Figure 2.4: Intermediately priced ink-jet printing systems [6, 27, 28].

Prikazani tiskalniki dosegajo naslednje hitrosti tiskanja: Aiona 8–16/1600° med 10 m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup> in m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup>, Nasserger-V° med 23 in 60 m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup> [27], Dupont Artistri° do 60 m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup>, Robustelli Mona Lisa° med 26 in 78 m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup>.

V uporabi je tudi že prvi visokozmogljivi stroj za brizgalni tisk, z vgrajenim sistemom za UV utrjevanje pigmentnih odtisov Virtu™ Printer° (sl. 2.5), ki sta ga izdelali podjetji Leggett-Platt Digital Technologies in Spuhl AG in je namenjen za tiskanje blaga za različne namene, od dekorativnega blaga, posteljnega perila do oblačil [28]. Osnovne karakteristike prikazanega sistema, ki ga izdelujejo v več različicah so: širina tiskanja 2500 mm ali 3500 mm, tiskanje

The second mechanism for piezo-based printing uses a head with a double-system that permits the jetting of differently sized droplets (Fig. 2.8b). The size of the droplet is regulated by the contraction of the lower piezo crystal. The contraction can be regulated such that droplets of different sizes are formed. Double-system heads can achieve fast printing speeds and are flexible to dye chemistry, but unfortunately have a relatively short lifetime.

Heads using a bending system (Fig. 2.8c) operate by using a crystal plate mechanism that bends by the application of an electrical signal, forcing the ink out of the orifice created by the bending crystal plate. The benefit of such a system is the relatively low cost, since they are produced in great quantity. Further, the droplet deposition is precise, which enables a high resolution for sharp and clear printed figures. The largest producer of bending piezo heads is Epson, followed by Textronix, Sharp, and On-Target technologies. Producers of wide-format printers are Mimaki Engineering, Raster Graphics, Roland Digital Group, and Stork.

Piezo DOD printing heads are more reliable and have a longer lifetime compared to thermal DOD printing heads. Contemporary piezo DOD printing heads are capable of jetting 300000 droplets per second, which corresponds to approximately  $30 \text{ mls}^{-1}$  or  $108000 \text{ mlh}^{-1}$  [10]. Fig. 2.9 presents a high efficient piezo electric head with multilayered construction. The top layer is a grid consisting of hundreds of piezo-electric drivers. The next layer is porous metal that permits ink to flow to the bottom layer, which contains the nozzles. This structure permits ink to flow reliably at high firing rates over wide cross-sections. The piezoelectric driver



Figure 2.5: The Virtu™ Printer®, a high efficiency ink-jet printing system with continuous UV fixation [28].

z navitka na navitek ali plosko, piezo DOD tehnologija, 36 glav, tiskanje v dve smeri, 4 ali 6 barv, resolucija 600 ali 300 dpi,  $43\text{--}58 \text{ m}^2\text{h}^{-1}$  pri 6 barvnem tisku ali  $150 \text{ m}^2\text{h}^{-1}$  pri 4 barvnem tisku, integrirana komora za popolno UV utrjevanje. Sistem omogoča kontinuirni postopek UV utrjevanja, ki je neposredno povezan s postopkom brizgalnega tiskanja, oziroma poteka z enako hitrostjo, saj se tiskana tkanina vodi z brizgalnega tiskalnika neposredno v sistem za UV utrjevanje, kar še dodatno skrajša postopek tiskanja.

Danes se uporabljajo brizgalni tiskalniki v naslednjih področjih tekstilne industrije:

- tiskanje preprog (nizke ločljivosti 10–20 dpi),
- vzorčenje oziroma tiskanje prototipov dezenov, tiskanje kuponov [29],
- tiskanje vseh vrst ploskih tekstilij, npr. metraže (ločljivost od 100–720 dpi, širine materialov od 30–160 cm) in
- tiskanje dekorativnih tekstilij, npr. zaves in prtov (ločljivosti od 100–720 dpi, širine materialov do 300 cm).

Brizgalne tiskalnike uvrščamo v skupino nestičnih tiskalnikov, ki jih imenujemo tudi digitalni tiskalniki. V skupino digitalnih tiskalnikov spadajo poleg brizgalnih tiskalnikov tudi laserski tiskalniki, termalno sublimacijski tiskalniki in drugi. Osnovna delitev brizgalnih tiskalnikov je prikazana na sliki 2.6 [30].

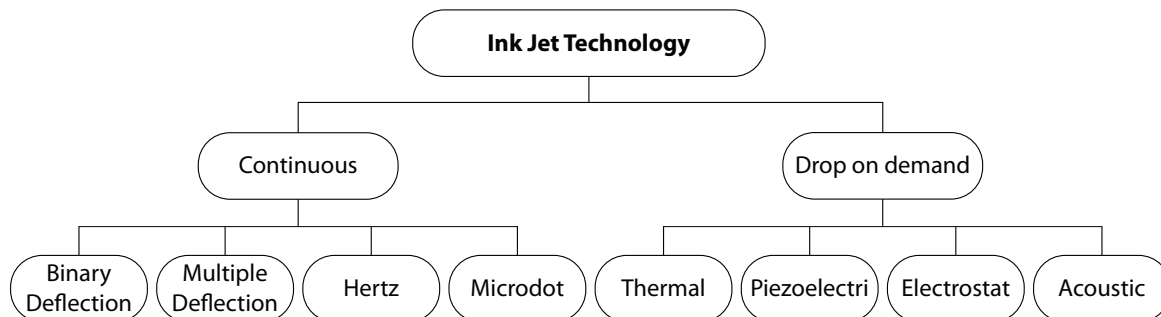


Figure 2.6: The basic classification of ink-jet printers.



above each nozzle is capable of creating a shock wave, which controls droplet emission. Although ink flows slowly through the porous layer, each shock wave pulls ink through rapidly, thus eliminating crosstalk between nozzles. Such print-heads are installed on the DreAM printer and run at a speed exceeding 300000 droplets per second. The DreAM printer, produced by Reggiani (Italy), in cooperation with Scitex Vision (Israel) and Ciba (Switzerland), is the fastest digital printer and is capable of  $150 \text{ m}^2 \text{ h}^{-1}$ . For each of the seven colours on the DreAM, there are seven heads, for a total number of 42. Each head has 512 nozzles. The printing resolution is a true 600 dpi. The entire system consists of a roll-to-roll printer, dryer, and washer for the printing blanket. The inks can be supplied during the printing process.

The main characteristics of piezo-electric systems regarding dye application are the following [28]:

- Inks of higher viscosity may be used, such as pigment dispersions with incorporated binders,
- The working temperature range is greater (up to  $70^\circ\text{C}$ ),
- More chemicals and their combinations are permitted in the inks,
- Ink surface tension is an important characteristic, and is regulated by included surfactants,
- Inks must not contain compounds with chlorine ions, since they damage the metallic nozzles.

### 2.1.2 Continuous ink-jet (CS)

In CS ink-jet printing, the jet of ink generated by each nozzle is broken up into droplets shortly after exiting the nozzle. Without intervention, jet breakup would occur randomly and result in droplets of variable sizes. Droplet size is corrected and controlled by providing a periodic excitation to the nozzle in the time domain that translates to a spatial perturbation in the jet of fluid. The combination of the jet velocity and nozzle excitation frequency determines the droplet size, which can be controlled with substantial accuracy.

In traditional CS ink-jet printing, a piezoelectric transducer is coupled to the print head to provide periodic perturbation excitation. The oscillations are therefore mechanical in nature. Af-

## 2.1 Vrste brizgalnih tiskalnikov

Brizgalni tiskalniki se delijo v dve glavni skupini, v tiskalnike s kontinuirnim curkom in v impulzno brizgalne tiskalnike. Osnovni princip, skupen vsem tipom brizgalnih tiskalnikov, je nanašanje barvila v kapljicah na substrat.

### 2.1.1 Impulzne tehnike tiskanja – DOD

Impulzni tiskalniki imajo dve veliki prednosti pred kontinuirnimi tiskalniki: imajo manjšo porabo energije poleg tega pa nimajo odvečne porabe barvila. Kontinuirni tiskalniki morajo odlagati barvila, ki niso bila porabljena v procesu tiskanja. Impulzni tiskalniki za razliko od kontinuirnih brizgajo kapljice barvil na zahtevo. DOD je angleška kratica za spusti-na-zahtevo (drop-on-demand). Z impulznim brizgalnim tiskalnikom se vsaka posamezna kapljica barvila izbrizga iz šobe na točno določeno mesto na tekstiliji, kar pomeni, da na eno točko lahko usmerimo samo eno kapljico barvila. Osnovni nabor barv je lahko sestavljen iz različnih barvnih kombinacij. Najpogostejši sistem je CMYK; turkizna (C-cyan), škrlatna (M-magenta), rumena (Y-yellow), črna (K-black). Vedno bolj se uveljavljajo CMYK sistemi z dodatnimi barvami, kot so svetlo turkizna (LC-light cyan), svetlo škrlatna (LM-light magenta), oranžna (O-orange), zelena (G-green), modra (B-blue), siva (Gr-grey), izjemoma rdeča (R-red) in vijolična (P-purple). Poltonske prehode tvorimo s pomočjo matričnega načina nanašanja točk npr. kot rasterški vzorec (sl. 2.7) [31].

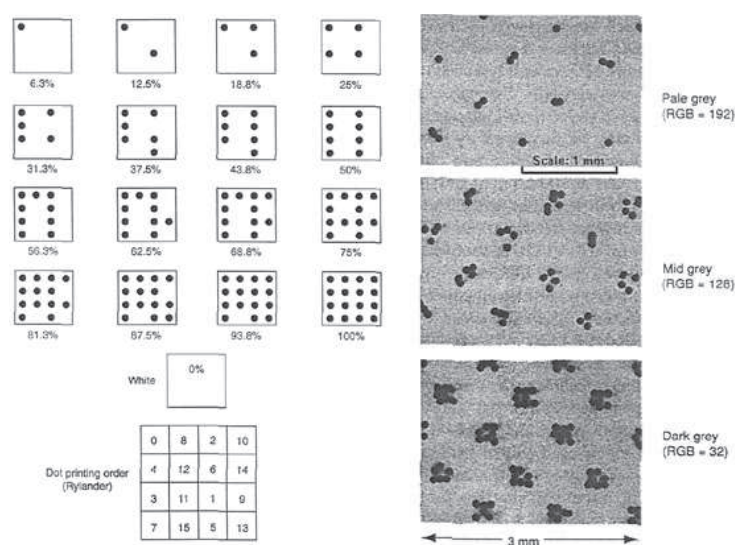


Figure 2.7:  $4 \times 4$  superpixel: grey levels and printing order (left), and ink drop dither patterns for individual  $4 \times 4$  pixels (right).

Impulzni tiskalniki se delijo na dva osnovna tipa, na termalni oz. bubble-jet in piezo, ki se v osnovi razlikujeta po načinu ustvarjanja kapljic. Danes v ospredju je zagotovo piezo DOD tehnologija, ki je dosegla velik porast v zadnjih 10 letih.

ter leaving the nozzle, the drops are electrically charged by an amount that depends on the image to be printed. The drops then pass through an electric field and are deflected either to a single pixel location in the medium or to the recirculating gutter. Some systems are capable of multiple-deflection, wherein the drop deflection is variable and can be addressed to several different pixels. These two concepts are illustrated in Figs. 2.10a and 2.10b, respectively.

There is a variant of CS ink-jet printing called the Hertz method, named after the inventor Dr. Carl H. Hertz of Sweden. In the Hertz method, the amount of ink deposited per pixel is variable. This variability is achieved by generating drops on the order of 3 pL, at speeds of 40 m/s, with excitation frequencies of over 1 MHz (Fig. 2.10c). Drops not intended for deposition on the medium are charged and deflected to a gutter. Printing drops are charged less to prevent them from merging in-flight. Iris Graphics has successfully commercialised this technology in digital colour proofers. The company is now a part of Kodak.

Kodak has recently disclosed a CS ink-jet printing system that uses thermal pulses to uniformly divide the ink jet. In this process, each nozzle has an annular electrical heater that is pulsed at a certain frequency. The generated heat raises the temperature of the ink jet in the vicinity of the nozzle and locally lowers the viscosity of the ink. Since the heating pulse is periodic in time and the jet velocity is constant, the resulting jet divides into reproducible equally sized drops.

Due to the complexities of charge deflection, ink recirculation, and pressurisation inherent to conventional CS ink-jet printing, CS print heads

### 2.1.1.1 Piezo tiskalniki

Piezo-električni sistemi proizvajajo kapljice s pomočjo izrivanja barvila na piezo-električnem kristalu. Zaradi električnega toka se kristal razteza in pri tem potiska kapljice skozi šobe. Količina nanesenih kapljic v sekundi je štirikrat večja kot pri termalnih tiskalnikih (tam je količina nanesenih kapljic v sekundi 5000 kapljic/s do 12000 kapljic/s). Piezo-električne glave se delijo v tri skupine.

Prva skupina so glave s strižnim sistemom piezo kristalov, ki omogočajo uporabo barvil in raztopin polimerov z višjo viskoznostjo (slika 2.8a). S temi tiskalniki zato lahko izdelujejo filme za ploske šablone, kjer na PVC film nanesejo kapljice polimerov, ki se na površini filma strdijo in tvorijo neprosojno površino. Poleg tega omogočajo uniformno nanašanje široke palete barvil na široko paleto substratov z relativno nizkimi stroški in veliko hitrostjo. Za te glave je značilna izredna zanesljivost, saj lahko delujejo tudi več let. Največji proizvajalci teh tiskalnih glav so podjetja Xaar, Shear, Spectra, Mechatron, Tektronix, Trident, Calcomp in Dataproducts. Proizvajalci tiskalnikov s temi glavami pa so Daniel Instruments, Raster graphic, ColorSpan, Polaroid, MIT in Brother, ki izdelujejo različne tipe tiskalnikov.

Druga skupina so glave z dvojnimi sistemom (slika 2.8b), ki omogoča nanašanje kapljic različnih velikosti, velikost kapljice reguliramo na šobi s krčenjem spodnjega piezo kristala. Kristal se krči tako, da tvori majhno oz. veliko kapljico in ga lahko naravnamo na šestnajst stopenj. Tiskanje poteka relativno hitro in z različnimi vrstami barvil. Slabost je življenjska doba teh tiskalnih glav, ki je najkrajša v skupini.

Tretja skupina so glave z upogibnim sistemom (slika 2.8c), ki uporablja tehniko upogibanja piezo kristalne plošče, ki se pri dovajanju električnih signalov upogiba in na tak način potiska barvilo skozi šobe. Prednost teh sistemov je zelo nizka cena, kar je posledica njihove masovne proizvodnje. Poleg tega je nanašanje kapljic izredno natančno, kar omogoča najvišje ločljivosti v tej skupini, kar se odraža v zelo ostrih, jasnih slikah. Največji proizvajalec teh tiskalnih glav je podjetje Epson, sledijo mu Textronix, Sharp in On-Target technologies. Proizvajalci tiskalnikov za tiskanje širokih formatov s temi tiskalnimi glavami so Mimaki Engineering, Raster Graphics, Roland Digital Group in Stork.

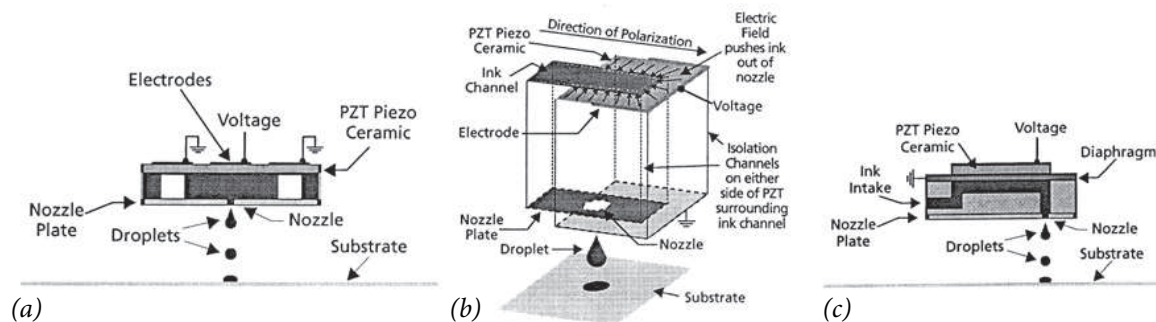


Figure 2.8: Piezo-electric jet printers (DOD) with shearing (a), pushing (b) and bending (c) heads [11, 14].

are expensive. Additionally, since the nozzles are actively refilled by a positive pressure operation, the operating frequencies of these devices are typically at least an order of magnitude higher than that of DOD systems. For these reasons, CS ink-jet printing systems are generally only used in industrial applications.

### 3 Collection preparation with an ink-jet printer

Collection production at textile manufacturers is ordinarily divided into spring/summer and fall/winter seasons. Collection design usually starts one year prior to manufacturing. The process of collection production consists of preparing and discussing ideas, producing the prototypes, and bulk production of the finalised designs. In order to ensure a profit, the products must be marketable and desirable, and the associated product production process must be as cost effective as possible. The textile apparel market is increasingly becoming more competitive and demanding, with some lines producing as many as 12 collections per year. Consequently, it is critical that the textile industry is able to design and manufacture collections on much shorter time scales to meet market demands. Ink-jet printing is an attractive technology that can potentially satisfy these demands on the textile industry.

Preparing a collection with an ink-jet printer involves the following:

- The preparation of the design report, the colour chart, and the sample print using CAD CAM software,
- Pre-treatment of the textile substrate, depending on dye chemistry and fabric type,
- Ink-jet printing of textile designs, and
- After-treatment of the print, depending on dye chemistry and fabric type.

Ink-jet printed textiles are most relevant in the fashion industry and as interior textiles, followed by the graphics and automotive industries. Figure 3.1. summarises the growth rate for different ink-jet printed textile industry segments [9].

Some trademarks, sales networks, and design studios are exploiting the advantages of ink-jet textile printing [15]:

Prednost piezo DOD tehnologije, v primerjavi s termalno DOD tehnologijo, je v večji zanesljivosti in daljši življenjski dobi tiskalnih glav. Ti lastnosti sta omogočili hiter razvoj tiskalnih glav, visoke zmogljivosti, ki omogočajo iztiskanje 300000 kapljic v sekundi (kar je približno  $30 \text{ ml s}^{-1}$ , oziroma  $108000 \text{ ml h}^{-1}$ ) [10].

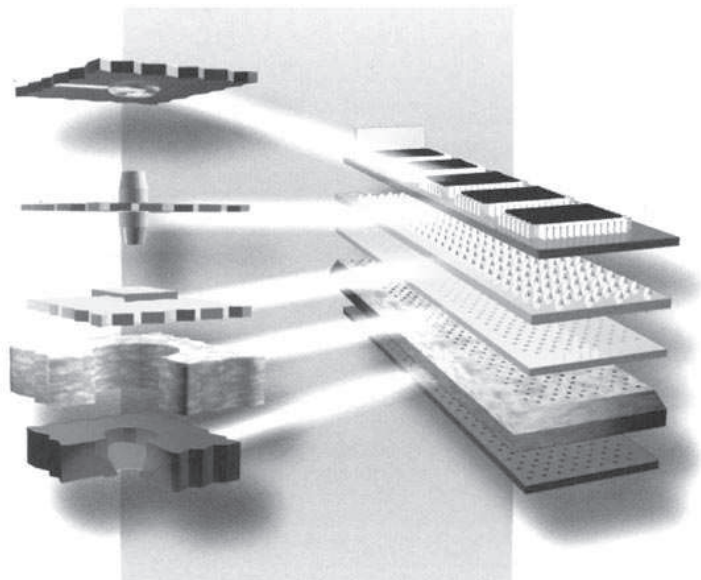


Figure 2.9: High effective piezo-electric printing head [10].

Na sliki 2.9 je prikazana visokozmogljiva glava s piezo-električnim sistemom, katere ključni del predstavljajo spodnje tri plasti [10]:

- plošča s šobami
- mikroporozna kovinska membrana, ki deluje kot nosilec barvila in jeklena diafragma, ki nosi na sebi piezo elemente.

Ko piezo električni element sprejme električni impulz, se diafragma upogne, kar povzroči iztiskanje kapljice barvila. Po zaslugi z barvilom nasičene porozne membrane se po iztiskanju barvila pore v membrani takoj ponovno zapolnijo z barvilom. Ta izredno hiter proces dopolnjenja membrane z barvilom pripravi sistem za naslednji impulz, kar omogoča visoko frekvenco brizganja kapljic barvila.

Visokozmogljive piezo DOD tiskalne glave so trenutno vgrajene v enega najsodobnejših strojev za brizgalni tisk visokega cenovnega razreda in visoke zmogljivosti DReAM, ki ga je izdelalo podjetje Reggiani (Italija) skupaj s podjetjema Scitex Vision (Izrael) in Ciba (Švica). Sistem dosega trenutno v svetu največjo hitrost tiskanja s piezo DOD brizgalno tehnologijo tiska,  $150 \text{ m}^2\text{h}^{-1}$ , in je v Evropi ponekod že nadomestil proizvodne linije avtomatiziranih strojev za ploski filmski tisk. Sistem se izkazuje predvsem s praktično aplikacijo na vse vrste tekstilij in z izredno velikim številom tiskalnih glav (42 piezoelektričnih glav), ki omogočajo tiskanje z ločljivostjo 600 dpi in 6 barvami. Sistem ima proizvodne karakteristike, saj omogoča tiskanje z navitka na navitek, ima integriran sušilnik



*Trademark: Victoria's Secret (Fig. 3.2a);*

- Complete design freedom
- Short response time
- Proof of product marketability before the fabric is ordered.

*Apparel sale network: Custo (Fig. 3.2b);*

- The possibility of ordering of low quantities of products
- Less risk with stock ordering and lower loss from over-stocking

*Designer: Emily Hermans (Fig. 3.2c);*

- Complete design freedom
- Completely digital production permits the identical manufacturing of sample and final production products;

*Traditional print houses that originally introduced the ink-jet technology [10];*

- More effective development of collections with digital sample printing and precise reproduction of products than when using a traditional production process.

*In addition to the fashion industry, other products manufactured from digitally printed textiles are appearing on the market (Fig. 3.3):*

- Flags and posters (polyester)
- Ties and scarf (silk)
- Car seats (polyester)
- Home products (curtains: polyester, silk, linen; bedclothes: cotton)

### 3.1 The use of CAD CAM systems

*Textile patterns are often composed of complex figures, and need to be converted into the millions of points interpreted as electric impulses for controlling the ink-jet printers.*

*Advanced software ensures that the image is transferred from the screen to the textile substrate with near-identical colour matching. Such software permits the efficient reproduction of fabrics. Functional characteristics of CAD and CAM software are modular design creation, automated repeating, colour calibration, design preparation using different colourways and resolutions, and effective control of the ink-jet printer. Programmes for colour calibration set the greylevels and calculate the colour gamut that can be reached with four, seven, or more dyes. A spectrophotometer or sometimes a scanner is incorporated into the system for colour calibration. The entire system adapts the*

odtisov in kontinuirno pranje tiskarske podloge in omogoča, da se barvilo dopolni med delovanjem stroja. Sistem se izdeluje v dveh različicah, širine 1600 mm ali 2400 mm.

temperature.

Glavne značilnosti piezo-električnega sistema v smislu aplikacije barvil so [28]:

- Možna je uporaba barvil z večjo viskoznostjo, za razliko od termalnih ali kontinuirnih sistemov, pri čemer:
  - lahko prenese bolj viskozne snovi, z večjim deležem suhe snovi,
    - vzdrži višje koncentracije pigmenta,
    - dopušča uporabo veziv v formulaciji s pigmentnimi barvili, s čimer proces predobdelave za pigmentni tisk ni potreben,
    - večje zahteve za tehnološko izdelavo disperzij.
- Širši razpon temperaturnega območja delovanja, pri čemer:
  - omogoča delovanje pri različnih temperaturnih območjih, brizganje kapljic pri sobni temperaturi, do temperature 70 °C,
  - odpira možnosti za uporabo širšega spektra kemikalij in večji razpon kombinacij kemikalij.
- Površinska napetost je velikega pomena:
  - šobe morajo biti mokre med delovanjem in se ne smejo zasušiti, potreben je dodatek tenzidov v barvilih na vodni osnovi.
- Kompatibilnost materialov:
  - kot pri termalnih DOD sistemih, občutljivost na spojine, ki vsebujejo klorove ione, saj ti poškodujejo kovinske elemente, iz katerih so izdelane šobe (reaktivna barvila).

#### 2.1.2 Kontinuirne tehnike tiskanja – CS

S kontinuirnim tiskalnikom lahko usmerimo na določeno mesto (pixel) več kapljic. Slabost teh tiskalnikov je v količini izbrizganega, a neuporabljenega barvila v procesu tiskanja, pri čemer je potrebno izčrpavati odvečna barvila v posebne rezervoarje. Nekateri sistemi te vrste omogočajo, da za vsako izmed štirih barvil (turkizno, škrlatno, rumeno in črno) nanesejo po več kapljic v eno točko. Poltone pa tvorimo na tak način, da usmerjamo v poltonske točke po več kapljic barvila v katerikoli izmed štirih barv. Na ta način dobimo gladke in enakomerne barvne prehode, v katerih z očesom posameznih točk ne moremo razpoznati. Zaradi večjega nanosa kapljic pa dobimo s to tehniko višjo globino barve. Pri tiskanju s tehnologijo DOD pa lahko nanesejo po eno kapljico v eno točko.

Pri CS tiskalnikih se curek barvila, ki izteka iz posamezne šobe, razbije v drobne kapljice kmalu po izstopu iz šobe. Razpršitev curka bi sama po sebi potekala naključno, pri čemer bi nastale različno velike kapljice. Zato se šobe periodično vzbujajo, kar povzroči enakomerno razbitje curka kapljic. S kombiniranjem hitrosti iztekanja curka in frekvence vzbujanja šobe se lahko zelo natančno uravnava velikost kapljic.

V klasičnih CS tiskalnikih periodično vzbujanje šobe omogoča piezoelektrični prevodnik, ki je povezan s tiskarsko glavo. Oscili-

colour space to different substrates and printing conditions.

### 3.2 Colour calibration of the system of ink-jet printing

For ink-jet printing, substrate characteristics must also be considered. Different textile substrates have different capacities for dye absorption. Ink-jet printing usually deposits less dye than screen printing. A textile material absorbs approximately 25% of its own weight in ink, whereas it can absorb up to 125% of its own weight in printing paste [32, 33].

A critical factor for textile dye absorption is the dye itself and the pre-treatment of the textile. Pre-treated textiles absorb more dye on the surface of the substrate, while in contrast, dyes penetrate from the surface into the core of untreated textiles (Fig. 3.4).

The quality of an ink-jet printed image directly depends on the degree of dye migration on the textile surface and the speed with which the dye dries after it has been jetted onto a textile [35]. Screen printing requires an extra drying phase after printing, while in contrast, ink-jet printed dyes dry on the substrate during the printing process [36].

Colour calibration enables the adaptation of ink-jet printing to specific textile substrate characteristics and its associated pre-treatment. Colour calibration is a process wherein the amount of dye a textile can absorb is specified, and dye colour mixtures are determined to obtain the largest possible colour spectrum. The colour calibration is therefore adjusted to specific dyes and textile substrates. The types of dyes and pigments that can be used for digital printing of textiles and the pre-treatment of different textile substrates have been extensively discussed in literature [33, 37]. Colour calibration is achieved primarily by spectrophotometers or high-efficiency scanners. The control system is usually connected to specific CAD software, meaning, that systems with different programmes have different control systems, and thus, different processes for colour calibration.

### 3.3 Design preparation for transfer to classical screen printing

Ink-jet printing is primarily used to prepare design prototypes, which are later realised using

ranje je pri tem torej mehansko. Po izstopu iz šobe se kapljice električno nabijejo v tolikšni meri, kot zahteva vzorec. Nato kapljice potujejo skozi električno polje, ki jih odkloni. Pri piezoelektrično vodenem procesu obstajata dva načina odklanjanja kapljic. Pri binarni metodi se kapljice lahko usmerjajo na posamični piksel na substratu ali v recirkulacijski kanal. Pri več odklonski metodi (multiple-deflection method) je odklon različen, tako da kapljice lahko usmeri na različne piksele. Oba načina sta prikazana na Slikah 2.10a in 2.10b.

Posebna vrsta CS tehnologije se imenuje Herz metoda, imenovana po izumitelju dr Carlu H. Hertzu iz Švedske. Pri Herzovi metodi je lahko količina barvila, ki se nanese na posamezni piksel različna. Pri tej metodi se tvorijo izredno majhne kapljice (ca 3 pl) s hitrostjo približno 40 m/s in rekvenco zbujanja nad 1 MHz (Slika 2.10c). Kapljice, ki niso namenjene na substrat, se nabijejo in odklonijo v zbiralnik. Kapljice, ki potujejo na substrat, se nabijejo z majhnim nabojem, kar jim prepreči odklon iz smeri potovanja.

Kodak je pred kratkim predstavil CS sistem, pri katerem se za enakomerno razbijanje curka barvila uporablja toplotne impulze. Pri tem vsako šobo obdaja električni grelec, ki se napaja z določeno frekvenco. Ustvarjena toplota poviša temperaturo barvila v odprtini šobe in lokalno zniža viskoznost barvila. Ker so grelni impulzi periodični in je hitrost iztekanja barvila konstantna, curek barvila razpade v enako velike kapljice.

Zaradi kompleksnosti CS tehnologije, imajo tovrstne tiskarske glave visoko ceno. Po drugi strani pa so hitrosti delovanja takšnih naprav bistveno višje kot pri DOD sistemih, tako da se CS sistemi praviloma uporabljajo v industrijskem, proizvodnem merilu [32].

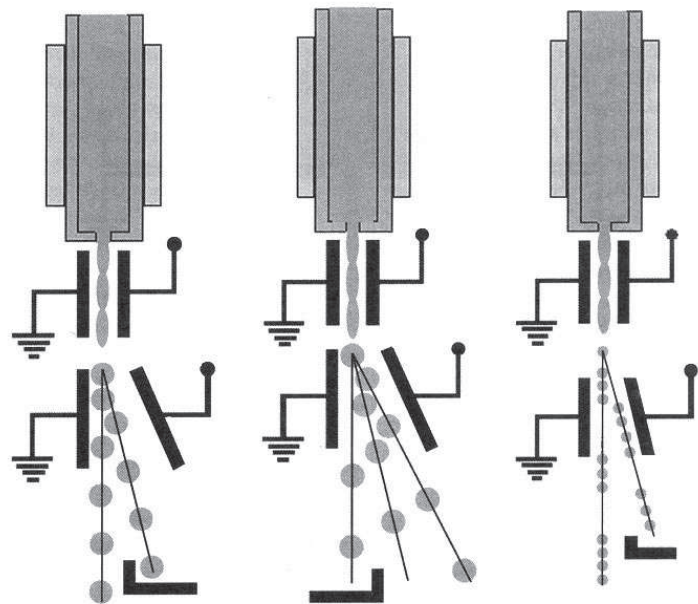


Figure 2.10: Continuous ink-jet Binary deflection (a), Multiple deflection (b), Hertz method (c) [35].



digital or screen production systems (Fig. 3.5) [6].

The primary advantages of digital product design are [6]:

- Reduction of time and cost of sample fabrication,
- Fast response to market demand,
- Simulation colour separation, dye penetration, and faults at screen printing,
- Precise colour matching.

Despite a high level of digitisation, most designers prefer to originate their artwork on paper or cards with paintbrushes. This practise is common in Asia, America, and Europe (Fig. 3.6) [6].

Computer processing is a continuation of the hand-made image, and further, is the preparation of the image for the technological printing process. Colour separation is also necessary for digital printing; however this process is now done exclusively by computer and is considerably faster and cheaper compared to before (Fig. 3.7) [6, 38, 39].

Digital sample patterns are prepared for ink-jet printing using a CAD CAM system in the following manner [11]:

- The original image is input into the CAD CAM via a scanner, CD, digital camera, or a digital photo-apparatus,
- A repeat is managed,
- Colour numbers are reduced and colours are separated,
- Colour separations are corrected,
- Colours are prepared,
- Repeated designs are prepared for printing.

The process for preparing a typical pattern consisting of six colours for ink-jet printing using a CAD CAM system is shown in Fig. 3.8.

Textile patterns can be composed of an enumerable number of colours, wherein more colours in a pattern result in much higher screen printing costs. For this reason, rotation screen printing machines are usually limited to printing up to 24 colours, and specialised automatic flat screen printing machines are limited to printing of up to 40 colours [13]. In contrast, ink-jet printers are capable of an unlimited number of colours and consequently, can potentially produce a wide variety of printed textiles [13].

### 3 Priprava kolekcij z brizgalnim tiskalnikom

Modne kolekcije v tekstilni industriji se pripravljajo sezonsko. Proizvodnja kolekcij se deli na dve glavni sezoni, pomlad/poletje in jesen/zima in druge manjše kolekcije. Oblikovanje kolekcije se običajno začne eno leto vnaprej. Proces izdelave kolekcij sestavljajo: proces priprave idejne zasnove, proces izdelave prototipov in proces serijske proizvodnje, ki posreduje izdelke na tržišče. Da so ti procesi tudi dobičkonosni, je potrebno zagotavljati učinkovito trženje in prodajo kolekcij, obenem pa je potrebno postopke izboljševati in optimizirati ter zagotavljati ustrezen razvoj in vlaganje v raziskave. Spremembe v tekstilnih in oblačilnih izdelkih se pojavljajo vedno hitreje. Zelo hitro prihajajo novi izboljšani tehnološki postopki. Tržišča so vedno bolj zahtevna in zahtevajo vedno večje število kolekcij v sezoni, tudi do dvanajst kolekcij na leto. Zaradi tega je hiter razvoj novih in kakovostnih modnih dezenov vedno bolj pomemben. Obseg kolekcij je sicer zaradi pogostega menjavanja bistveno manjši, zahteva pa veliko oblikovalskega in razvojnega dela. Tekstilna industrija ne more dosegati teh tržnih zahtev brez dodatnih prilagoditev. Ena izmed možnosti učinkovite prilagoditve tem potrebam je zagotovo uporaba brizgalne tehnologije tiska.

Priprava kolekcije za digitalni brizgalni tisk ima naslednje faze:

- priprava raporta dezena, barvne karte in vzorčnega odtisa (CAD CAM sistem),
- predobdelava tekstilije (odvisna od barvil in tehnološkega postopka),
- brizgalno tiskanje in
- poobdelava odtisov (odvisna od barvil in tehnološkega postopka).

Brizgalno tiskane tekstilije so se najbolj uveljavile v modni industriji, sledi industrija tekstilij za dom, ter grafična in avtomobilska industrija (sl. 3.1) [9]. Na sliki 3.1 je prikazana stopnja rasti za različne segmente brizgalno tiskanih tekstilij [9].

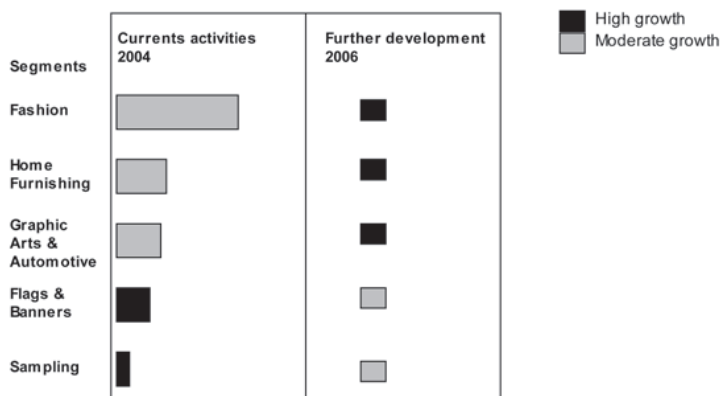


Figure 3.1: Expected growth of different types of ink-jet printed textiles [9].

Most designs in Europe are printed in six colours [16]. Ink-jet printing enables an unlimited number of colours; however the design must be prepared with as few colours as possible such that the design transfer to a rotation screen printing process is economical [13].

Colourimetric evaluation of the printed colours and computer-aided recipeing is used to transfer characteristics from digitally printed coupons to screen printing. The colours used in the ink-jet patterns, coupled with a print database from the screen printer, are used for the appropriate printed colour recipeing.

#### 4 Conclusion

Digital ink-jet printing of textiles is a well-known and important technology for textile

Nekatere blagovne znamke, prodajne mreže in oblikovalski biroji izkoriščajo prednosti, ki jih nudi brizgalna tehnologija tiskanja tekstilij [15]:

Blagovna znamka: Victoria's Secret (sl. 3.2a);

- popolnoma svobodno oblikovanje
- kratek odzivni čas
- preizkus izdelka na tržišču, pred naročilom blaga

Prodajna mreža oblačil: Custo (sl. 3.2b);

- možnost naročila majhnih količin artiklov
- manj tveganja z naročili zalog in zmanjšanje izgub iz zaloge

Oblikovalci: Emily Hermans (sl. 3.2c);

- popolna svoboda v oblikovanju
- popolnoma digitalizirana proizvodnja omogoča identičnost vzorčne kolekcije in proizvodnje;

Tradicionalne tiskarne, ki so uvedle brizgalno tehnologijo [10];

- bolj učinkovit razvoj kolekcije z digitalnim tiskanjem vzorca in precizno reprodukcijo izdelka v tradicionalnem proizvodnem procesu



Figure 3.2: Examples of fashion products with an expected high growth potential [15] (substrates: viscose, cotton, silk, PA/Lycra).

finishing. While screen printing is still the primary textile printing technology, digital ink-jet printing continues to increase its share in textile manufacturing. Digital ink-jet printing will continue to grow, but will never replace specialised textile screen printing, such as glitters and expanding pastes, and vat dye printing, such as camouflage. In the future, these technologies will supplement each other for cost effective and efficient textile manufacturing.

Poleg modne industrije so se na tržišču uveljavile tudi naslednje tipične skupine izdelkov (in substratov) digitalno brizgalno tiskanih tekstilij (sl. 3.3):

- zastave in plakati (poliester)
- kravate, šali in rute (svila)
- avtomobilski sedeži (poliester)
- izdelki za dom (zavese: poliester, svila, lan; posteljnina: bombaž)

#### 3.1. Uporaba CAD CAM sistemov

Dezeni za tekstilije so pogosto sestavljeni iz zelo kompleksnih slik, ki jih je potrebno v procesu računalniške priprave razbiti v več mi-



Figure 3.3: Typical groups of digitally printed products; (a) home textiles, (b) leather fashion supplements, (c) ties, (d) flags, posters, panels.

lijonov točk, čemur sledi tudi transformacija teh točk v električne impulze za krmiljenje brizgalnih tiskalnikov.

Napredna programska oprema zagotavlja, da se vizualni prikaz, ki ga kontroliramo na zaslonu, prenese s skoraj popolnoma identičnimi barvnimi karakteristikami na različne substrate. Takšna oprema omogoča učinkovito in enostavno izdelavo raportov, kjer se ponavljanje raporta izvaja avtomatično, s tem pa poteka priprava dezena izredno hitro in natančno. Ročni način izdelave je zahteval ročno risanje in adiranje, pri čemer je vsaka najmanjša sprememba pomenila, da moramo celotno risbo izdelati na novo. V poenosta-

vitvi tega postopka ( $20 \times$  hitrejša izdelava) je bistvena prednost sodobnih CAD CAM sistemov.

Funkcionalne karakteristike takšne programske opreme so: modularno oblikovanje dezenov, avtomatsko usklajevanje raportnih slik, avtomatska določitev raportiranja z raznolikimi funkcijami, barvna kalibracija, koloriranje dezena v različnih barvnih variacijah, raznolikost optičnih resolucij in učinkovito krmiljenje brizgalnega tiskalnika. Programi za barvno kalibracijo določajo stopnjevanje svetlobnih gradacij in matematično izračunajo barvni prostor, ki ga lahko dosežemo s štirimi, sedmimi ali več barvili. Barvni prostor lahko s pomočjo sistema za barvno kalibracijo, katerega del je tudi spektrofotometer ali pri nekaterih sistemih skener, dodatno prilagajamo za različne substrate in različne postopke brizgalnega tiskanja. Kakovost izpisa lahko dodatno kontroliramo programsko ali pa preko računalniškega krmilnega sistema, vgrajenega v brizgalnem tiskalniku.

### 3.2 Barvna kalibracija sistema za brizgalni tisk

Pri postopku brizgalnega tiskanja je potrebno upoštevati karakteristike tekstilije oziroma substrata, na katerega tiskamo. Za tekstilne materiale je značilna različna sposobnost navzemanja barvil nanesenih pri tiskanju. V tem smislu določeni tekstilni materiali izkazujejo višjo sposobnost navzemanja barvila (debelejši ali bolj hidrofilni materiali), medtem ko je pri drugih sposobnost navzemanja barvila manjša (tanki ali bolj hidrofobni materiali). Nanos barvila pri brizgalnem tiskanju je običajno manjši kot pri klasičnih postopkih tiskanja. Raziskave kažejo, da isti tekstilni substrat pri brizgalnem tiskanju navzame le 25 % ratopine barvila glede na lastno težo, medtem, ko je pri klasičnem postopku tiskanja sposoben navzeti tudi do 125 % tiskarske barvne gošče [33, 34].

Poleg karakteristik substrata na navzemanje barvil pomembno vplivajo tudi barvila sama, vplivajo pa lahko tudi postopki predobdelave tekstilije. Vsak tehnološki postopek brizgalnega tiskanja je zato specifičen. Tekstilije, ki so predobdelane imajo večjo sposobnost navzemanje barvila na površini substrata, medtem ko pri neobdelanih tekstilijah barvilo prehaja s površine tekstilije v njeno notranjost (sl. 3.4).

Kakovost iztiskane slike s tehniko brizgalnega tiska je neposredno odvisna od stopnje širjenja, oziroma migracije barvila na tekstil-

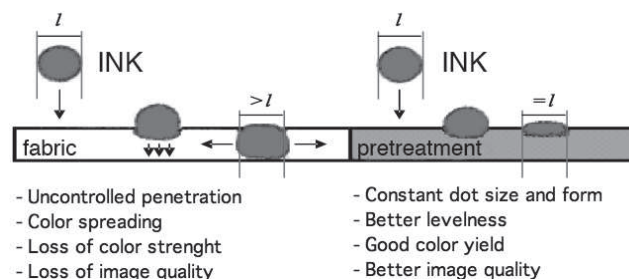


Figure 3.4: The influence of textile pre-treatment on the capacity of dye absorption in ink-jet printing [35].



nem substratu in hitrosti sušenja barvila takoj po nanosu na tekstilni substrat [36]. Sušenje poteka različno dolgo, večinoma pa se potiskane površine že med samim tiskanjem posušijo. Pri klasičnem tiskanju je obvezna posebna faza sušenja, s katerim se prepreči migracija barvil izven kontur vzorca [32].

Specifičnim tehnološkim postopkom ter specifičnim karakteristikam substrata in barvil se prilagajamo pri sistemih za brizgalni tisk s postopkom barvne kalibracije. Postopek barvne kalibracije je proces, v katerem določimo količino barvila, ki ga lahko navzame tekstilija oziroma substrat ter obenem definiramo način mešanja izbranih barvil na tekstiliji, za dosego čim večjega barvnega obsega. Postopki barvne kalibracije so zato specifični oziroma prilagojeni za točno določen tehnološki postopek, točno določena barvila in točno določen tekstilni substrat (neobdelan ali predobdelan). Vrste barvil in pigmenti, ki se lahko uporabljajo v digitalnem tisku tekstilij, ter način priprave različnih tekstilnih substratov za digitalni tisk so opisani v dostopni literaturi [34, 37], zato jih v tem članku ne bomo ponovno opisovali.

Postopek barvne kalibracije sistema za brizgalni tisk poteka na različne načine, večinoma z uporabo spektrofotometrov ali pri nekaterih sistemih z uporabo visokozmogljivih skenerjev. Nadzorni sistem postopka barvne kalibracije pa je običajno vezan na specifično CAD programsko opremo, kar pomeni, da imajo sistemi z različno programsko opremo tudi različne nadzorne sisteme in postopke barvne kalibracije.

### 3.3 Priprava dezerov za prenos v klasični filmski tisk

Brizgalna tehnologija se najpogosteje uporablja za pripravo prototipov dezerov (na papirju ali tekstilijah), na podlagi katerih se nato dezer realizira ali v digitalni proizvodnji ali pa v klasični proizvodnji (sl. 3.5) [6].

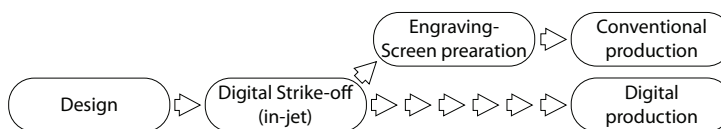


Figure 3.5: The primary ways for transferring a design to production [6].

Glavne prednosti računalniškega procesa obdelave dezerov so predvsem v [6]:

- zmanjševanju časa in stroškov vzorčenja,
- hitrem odzivu na zahteve in povpraševanje trga,
- simulaciji videza klasično tiskanih tekstilij, (barvna separacija, simulacija penetracije barvil, napak pri polaganju šablone, etc.)
- preciznem barvnem ujemanju in
- dejstvu da je digitalni vzorec del oblikovalskega razvojnega procesa (odgovornost oblikovalca).

Kljub visoki stopnji digitalizacije se za tiskanje tekstilij v praksi še



vedno večina osnovnih predlog dezerov pripravlja na tradicionalen način, tj. z ročnim načinom, ta trend je prisoten v Aziji, Ameriki in podoben trend je opaziti tudi v Evropi (sl. 3.6) [6].



Figure 3.6: Hand painting of designs [6].

Računalniška obdelava je tako pravzaprav nadgradnja ročne risbe in priprava risbe na tehnološki proces tiskanja. Tako kot pri filmskem tisku je tudi za digitalni tisk potrebna podobna priprava dezer, t.i. barvna separacija, ki se danes izvaja izključno s pomočjo računalnika, tako je ta postopek bistveno krajši in cenejši (sl. 3.7) [6, 38, 39].



Figure 3.7: Design colour separation [6].

Digitalno predlogo dezena obdelamo in pripravimo za brizgalni tisk na CAD CAM sistemu na naslednji način [11]:

- vnos originalne predloge dezena v CAD CAM sistem (skener, CD, digitalna kamera, digitalni fotoaparati),
- montiranje raporta,
- reduciranje števila barv in barvna separacija,
- korekcija barvnih izvlečkov,
- koloriranje,
- priprava raportiranega dezena za tiskanje.

Postopek priprave dezena za brizgalno tiskanje s pomočjo CAD CAM sistema je prikazan na sliki 3.8. Prikaz se nanaša na tipičen dezen za področje Evrope, ki sestoji iz 6 barv.

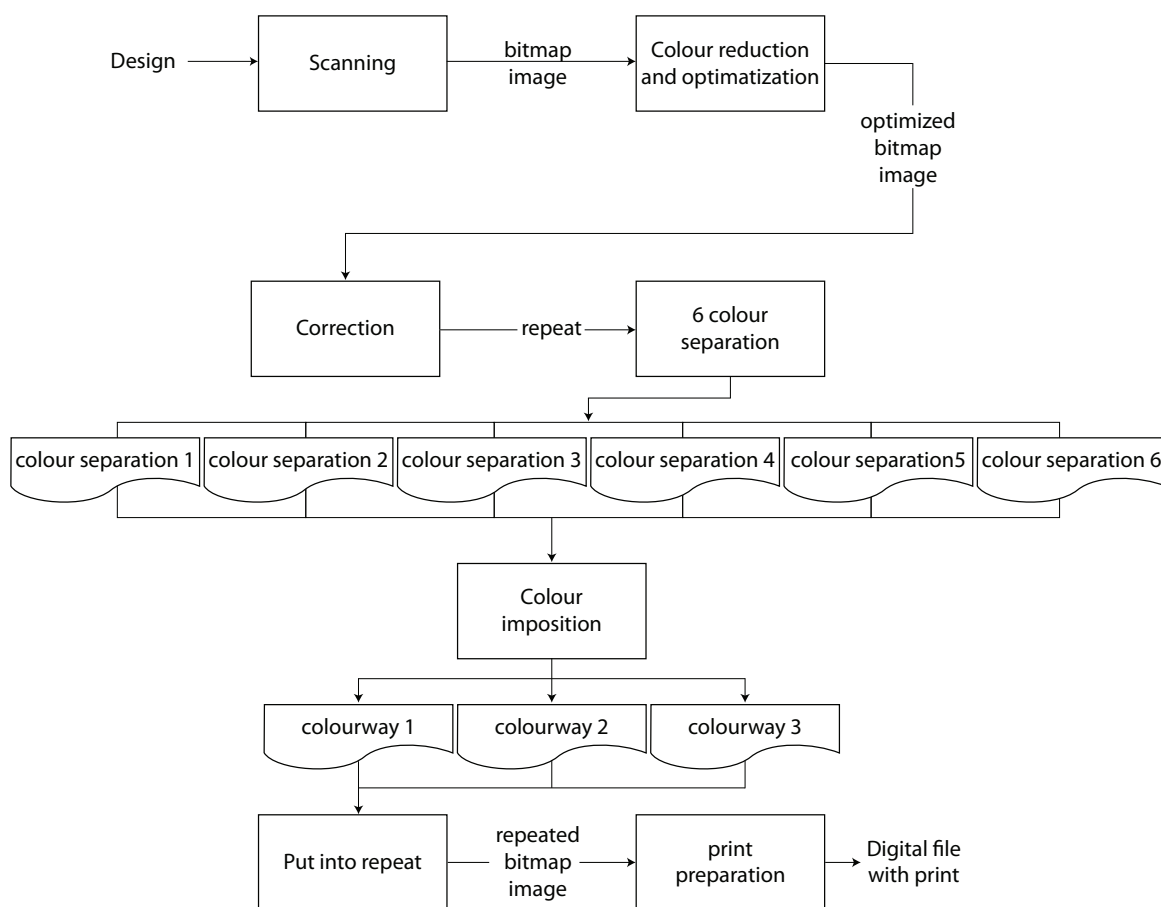


Figure 3.8: The design process treatment for ink-jet printing [11].

Dezeni za tekstilije lahko vsebujejo praktično neomejeno število barv, vendar je povečevanje števila barv v dezeniu pri klasičnem načinu tiskanja neposredno povezano v višjimi stroški (večjim številom šablon), zato v tekstilni industriji običajno tiskajo in izdelujejo dezene z omejenim številom barv. Običajno rotacijski stroji omogočajo tiskanje do 24 barv, avtomatski stroji za ploski filmski tisk pa tudi do 40 barv [13]. Brizgalni tisk pa omogoča tiskanje neomejenega števila barv, s čimer dosegamo veliko raznolikosti proizvedenih tiskanih tekstilij [13].

Tipičen dezen v Evropi je običajno tiskan v največ 6 barvah [16]. Brizgalni postopek tiskanja sicer omogoča neomejeno število barv, vendar mora biti dezen pripravljen tako, da bo prenos v rotacijski filmski tisk ekonomsko ustrezen, zato število barv v dezeniu ne sme biti preveliko [13].

Pri prenosu barvnih karakteristik iz digitalno tiskanih kuponov v rotacijski filmski tisk si pomagamo z barvnometričnim vrednotenjem barv odtisov in računalniškim receptiranjem. Pri tem potrebujemo tako bazo podatkov za odtise na rotacijskem tiskalniku kot barvno karto vseh barv, ki se pojavijo v digitalno tiskanih vzorcih.

## 4 Zaključek

Digitalni tisk tekstilij je danes že uveljavljena in široko poznana tehnologija plemenitenja tekstilij. Njegova uporaba stalno narašča, čeprav na svetovnem tržišču še vedno prevladuje filmski tisk. Predvidevamo lahko, da bo delež digitalnega tiska še nadalje naraščal, a verjetno še ne bo kmalu izrinil filmskega tiska. Glede na to, da digitalni tisk zaenkrat ne pokriva vseh področij tiskanja, ki jih omogoča filmski tisk, kot so tisk posebnih efektov (bleščice, napihljivi tisk, reliefni vzorci), redukcijskih barvil (maskirni tisk), bosta vzporedno v uporabi verjetno obe tehnologiji še dolgo vrsto let in se bosta medsebojno dopolnjevali.

## 5 Literatura

1. PARTRIDGE, S. Introduction and Latest Textile Market Developments. V *Conference Proceedings : Digital Textile 2005*, Berlin, 2005
2. PERKINS, W. S. Printing 2000: Entering the Jet Age. *Textile Chemist and Colorist & American Dyestuff Reporter*, 1999, vol. 31 (3), p. 25–27
3. ROSS, T. Digital printing of textiles develops. *America's Textiles International*, 1997, vol. 26, p. 64–65
4. SIEGEL, B. SIEMENSMEYER, K., DOHRER, M. Inks for digital textile printing. *Melliand International*, 1998, vol. 4 (4), p. 266–267
5. JUANDI, A. Concepto integrado para la estampacion textil ink jet. V *Zbornik 18. AEQCT Simpozij*, Barcelona, Španija, 2002
6. UJIE, H. Innovative Product Development in Digital Fabric Printing. V *Conference Proceedings : Digital Textile 2005*, Berlin, 2005
7. LANSU, K. Transfer equipment for Dye Sublimation Printing. V *Conference Proceedings: Digital Textile 2005*, Berlin 2005.
8. EU Projekt G1RD-CT-2000-25147(00437), Akronim-Inno-print, Title: Innovation in European Textile Printing Using UV-Curable Pigment Inks and Online-Fixation in Inkjet Prin-

- ting. Project funded by the European Community under the “Competitive and Sustainable Growth” Programme (1998–2002), 2003
9. MHEIDLE, M. Latest Progress in Textile Colorants & Printing Systems. V *Conference Proceedings : Digital Textile 2005*, Berlin, 2005
  10. FONTANA, M. High Speed Textile Printing Systems. V *Conference Proceedings : Digital Textile 2005*, Berlin, 2005
  11. MIKUŽ, M. *Parametri prenosljivosti odtisov brizgalnega tiska v proces tiskanja tekstilij : magistrsko delo*. Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, 2003.
  12. MIKUŽ, M., ŠOSTAR-TURK, S., POGAČAR, V. Preparation of decorative textile collections with ink-jet printing and transfer to a textile printing process. V *Proceedings 3rd AU-TEX Conference*, Gdańsk, 2003, Book 2, p. 75–79
  13. MIKUŽ, M., ŠOSTAR-TURK, S. Oblikovanje vzorcev za digitalni kapljični tisk tekstilij. V Zbornik 36. Simpozij o novostih v tekstilstvu “*Tekstilije za šport in prosti čas*”, Ljubljana, 2005
  14. CAHILL, V. Digital Printing of Textiles, Obstacles & Overview. V *Proceedings IS&T's NIP14: International Conference on Digital Printing Technologies*, Toronto, 1998, p. 257–260
  15. VAN DER MEIJ, J. Development & Value of Standards in Digital Textile Printing. V *Conference Proceedings : Digital Textile 2005*, Berlin, 2005.
  16. BLANC, M. Sublimation Dyestuffs and Inks for Digital Printing. V *Conference Proceedings : Digital Textile 2005*, Berlin, 2005.
  17. OWEN, P. Digital Printing, Realities and Possibilities. *Textile Chemist and Colorist & American Dyestuff Reporter*, 2000, vol. 32 (2), p. 22–27
  18. Digital opportunity, *International Dyer*, September, 1999
  19. SMITH, B., SIMONSON, E. Ink Jet Printing For Textiles. *Textile Chemist and Colorist*, 1987, vol. 19 (8), p. 23–29
  20. WORK, R.-A. Challenges of Digital Ink Jet Pigment Textile Printing, V *Recent Progress in Ink Jet Technologies II*, 1999, p. 545–547
  21. WILLIAMS, G. Digital Textile. <http://www.macdirectory.com/Reviews/textile/Index.html> [accessed: 4. 5. 2007]
  22. UJIIE, H. Interrelationship Between Textile Design Styles and Production Methods, V *Proceedings IS&T's NIP17: International Conference on Digital Printing Technologies*, Fort Lauderdale, 2001, p. 423–425
  23. KOOL, R. J. M. Rotary Screen Printing in the Nineties: Worldwide Competition and a Competitive Edge, *Textile Chemist and Colorist*, 1995, vol. 27 (6), p. 26–29
  24. STEFANINI, J. P. Jet printing for the textile industry. *Textile Chemist and Colorist*, vol. 28 (9), p. 19–23
  25. KALUBE, H. M., HAWKYARD, C. J. Colour generation in ink-jet printing, *South African Journal of Science*, 1998, vol. 94, p. 469–472

26. DAWSON, T. L. Jet printing, *Review in progress of Coloration*, 1992, vol. 22, p. 22–31
27. OHNO, A. High Speed Digital Textile Printing Systems, and Their Position in the Market Place. V *Conference Proceedings : Digital Textile 2005*, Berlin, 2005.
28. TORREY, M. Impact of Piezo Ink Jet on Digital Production Textile Printing. V *Conference Proceedings : Digital Textile 2005*, Berlin, 2005.
29. STEFANINI, J. Ph.: Ink jet technology for textile printing, *17th IFVTCC Congress Proceedings*, Dunaj, 1996, p. 89–92
30. MALIK, S. K., KADIAN, S., KUMAR, S. Advances in ink-jet printing technology of textiles. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 2005, vol. 30, p. 99–113
31. DAWSON T. L. Ink-jet printing of textiles under the microscope, *JSDC*, 2000, vol. 116, p. 52–59
32. UJIIE, H. *Digital printing of textiles*. Cambridge: Woodhead Publishing in textiles, 2006.
33. MILES, L.W.C., *Textile printing*. Bradford: Society of dyers and colourists, 2004
34. ZAVRŠNIK, T. Digitalni tekstilni tisk, *Tekstilec*, 2003, vol. 46 (5–6), p. 127–137.
35. BLANK, K.H., CHASSAGNE, J.M., REDDIG, W. *Colorants in digital textile printing inks., Textile Ink Jet Printing, A review of ink jet printing of textiles, including ITMA 2003*, Bradford: Society of Dyers and Colourists 2004, p. 64–68.
36. MAGDASSI, S., BEN-MOSHE, M., BERENSTEIN, L., ZABAN, A. Microemulsion Based Ink-jet Ink: Properties and Performance. *Journal of imaging science and technology*, 2003, vol. 47 (4), p. 357–360.
37. FORTE-TAVČER, P., *Tiskanje tekstilij 1.del*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, 2005.
38. SOPHIS SYSTEMS N.V., Advanced CAD-CAM technology, [Tehnične specifikacije programske opreme Sophis Systems Socrates Studio] 2002.
39. AVA CAD/CAM Ltd., Tehnične specifikacije programske opreme AVA CAD/CAM, 2005.