

UNIVERZA V LJUBLJANI  
NARAVOSLOVNOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA TEKSTILSTVO

**STANDARDIZACIJA GRAFIČNIH PROCESOV**

# **METODE SUŠENJA**

Andrej MIHELIČ  
Blaž RAT

Ljubljana, april 2005

## KAZALO:

1 Uvod.....	3
2 Fizikalno sušenje.....	4
2.1 Vrste fizikalnega sušenja.....	4
2.1.1 Absorpcija.....	4
2.1.2 Izhlapevanje.....	4
2.2 Dovajanje toplote.....	6
2.2.1 Prevajanje.....	6
2.2.2 Konvekcija.....	7
2.2.3 Sevanje.....	7
3 Kemično sušenje.....	9
3.1 Vrste kemičnega sušenja.....	9
3.1.1 Oksipolimerizacija.....	9
3.1.2 Sušenje s sevanjem.....	10
3.1.2.1 Sušenje z UV sevanjem.....	11
3.1.3 Sušenje s sevanjem elektronov.....	14
3.1.4 Dodatne tehnike sušenja.....	15
3.1.4.1 Nanos finega prahu.....	15
3.1.4.2 Nanos silikona.....	15
4 Komentar.....	16
5 Zaključek.....	17

## 1 UVOD

Sušenje tiskarske barve na substratu je ena izmed pomembnejših faz pri tisku. V prvi vrsti je potrebno vedeti, da celoten proces sušenja ne obsega le zasidranje barve na substrat, temveč se proces začne že prej. Tiskarska barva mora zadovoljiti dve izključujoči lastnosti, saj se ta ne sme posušiti na tiskarskem valju, medtem ko se mora po nanosu barva hitro dobro zasidrati v/na substrat. Celoten proces sušenja se tako začne že ob nanosu tiskarske barve na tiskarski valj ter konča, ko se barva povsem fiksira na substrat in posuši.

Na samo sušenje tiskarske barve vplivajo številni dejavniki, od sestave barve (veziva, nosilec in dodatki), značilnosti substrata, do pogojev tiskanja (hitrost, količina nanosa barve), zgradbe sušilnega aparat in klimatskih pogojev. Višja temperatura pričakovano poveča hitrost sušenja, saj se v tem primeru zmanjša viskoznost barve in se ta tako lažje absorbira v substrat, poleg tega pa pri višji temperaturi pride tudi do hitrejšega izhlapevanja topila.

Na naslednjih straneh bosta predstavljeni obe skupini sušenja, tako fizikalno kot kemično. Pri izbiri metode sušenja sta pomembna vrsta veziva v tiskarski barvi ter pogoji pri sušenju. Pomembno je zavedanje prednosti posameznih metod sušenja, saj vse to močno vpliva na celoten potek tiskanja, torej na končni rezultat, za katerega si prizadevamo, da bi zadovoljil standarde ali jih celo presegel.

## **2 FIZIKALNO SUŠENJE**

### **2.1 Vrste fizikalnega sušenja**

Fizikalno sušenje se naprej deli na absorpcijo barve v substrat ter na izhlapevanje topila iz tiskarske barve.

#### *2.1.1 Absorpcija*

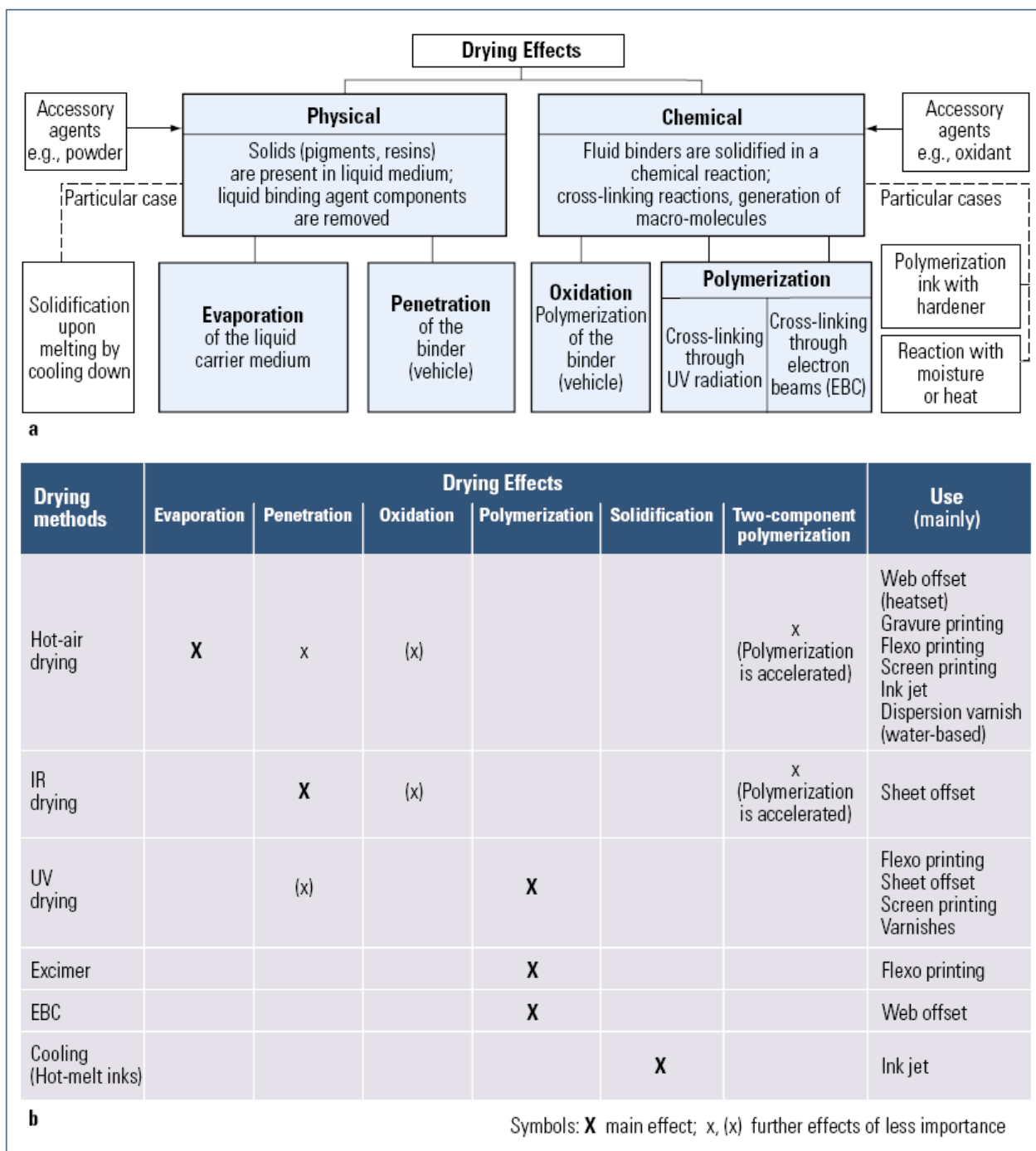
Absorpcija je proces prodiranja tiskarske barve v tekoči fazi s površine v notranjost substrata. Celoten proces je odvisen od površinske napetosti tekoče nosilne faze ter od kapilarnega delovanja v substratu. Pravzaprav je proces odvisen od razmerja površinskih napetosti med tiskarsko barvo in substratom, saj mora biti stični kot med substratom in tangento na površino kapljice manjši od  $90^\circ$ , da tako pride do omakanja. Do tega pride le v primeru, ko je napetost tiskarske barve manjša od površinske napetosti substrata.

Poleg napetosti pa je pomembno vlogo igrajo lastnosti substrata, saj mora ta vsebovati kapilare in ozke pore, ki omogočajo kapilarno delovanje (torej barva lahko penetrira v substrat). V tem primeru velja, da je substrat porozen.

#### *2.1.2 Izhlapevanje*

Izhlapevanje je proces, v katerem molekule topila migrirajo s površine topila v zrak in se oddaljujejo od matične tekočine. Na proces vplivajo energija molekul v notranjosti, površinska prosta energija topila in latentna izparilna toplota. Molekula mora premagati sile, ki določajo, kakšen je privlak molekule na površini v notranjosti, da ji uspe migracija v zrak. Za premagovanje teh sil je potrebno dovajati dovolj energije, kar imenujemo latentna izparilna toplota. Tu moramo biti pozorni na vrelišče, ki določa, pri kateri temperaturi molekule prosto prehajajo s površine topila v zrak. Da je izhlapevanje lažje in hitrejše, mora imeti tiskarska barva nizko vrelišče,

kar posledično pomeni tudi dovajanje nižje izparilne toplote. Poleg vrelišča tekočine pa je pomembna tudi relativna hitrost izhlapevanja, ki predstavlja razmerje hitrosti izhlapevanja določene tekočine v primerjavi s hitrostjo izhlapevanja standardne, lahko hlapne tekočine (eter).



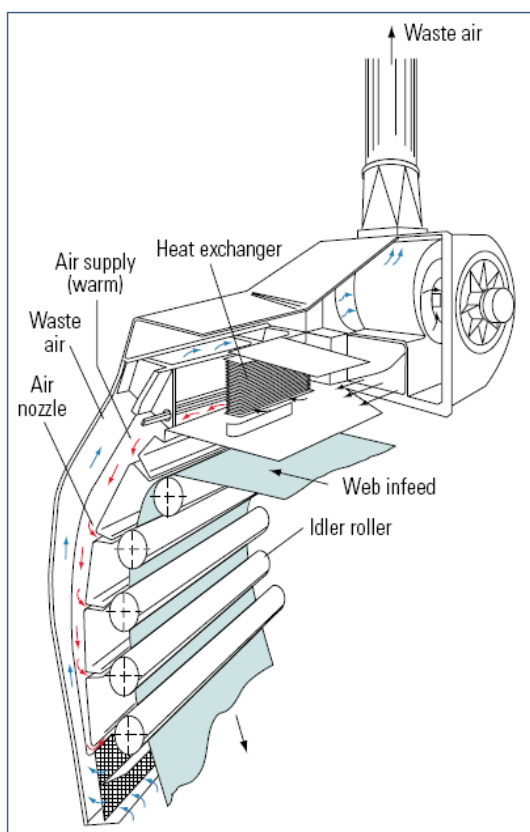
**Slika 1:** Procesi sušenja.

## 2.2 Dovajanje toplote

Da zmanjšamo viskoznost tiskarske barve in s tem omogočimo lažjo absorpcijo v substrat ter da priskrbimo potrebno latentno izparilno toploto in omogočimo hitrejše izhlapevanje topila, si pri sušenju pomagamo z dovajanjem toplote. Pri fizikalnem sušenju potrebno toploto dovedemo s pomočjo prevajanja, konvekcije ter sevanja.

### 2.2.1 Prevajanje

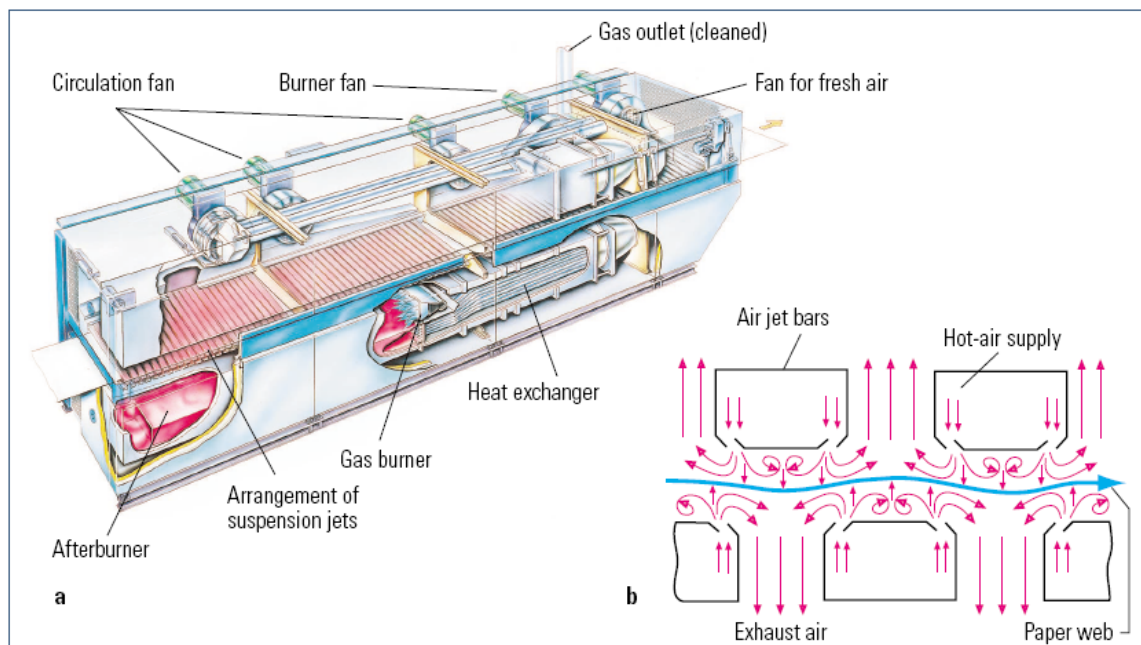
Pri prevajanju moramo potiskan material voditi preko segretyh valjev. Učinkovitost je odvisna od toplotne prevodnosti substrata, pri uravnavanju temperature pa je potrebno upoštevati tudi toplotno občutljivost substrata. Velja pravilo, da je potrebno dovesti le toliko toplote, kolikor se je iztroši v proizvedeni pari, seveda v odvisnosti od vrste samega dovajanja toplote.



**Slika 2:** Vertikalni sušilni sistem z vročimi valji.

### 2.2.2 Konvekcija

Pri konvekciji vodimo potiskan material mimo šob s toplim zrakom. Toplota povzroči uparjevanje tekočine, zračni tok pa molekule pare odstrani s površine.



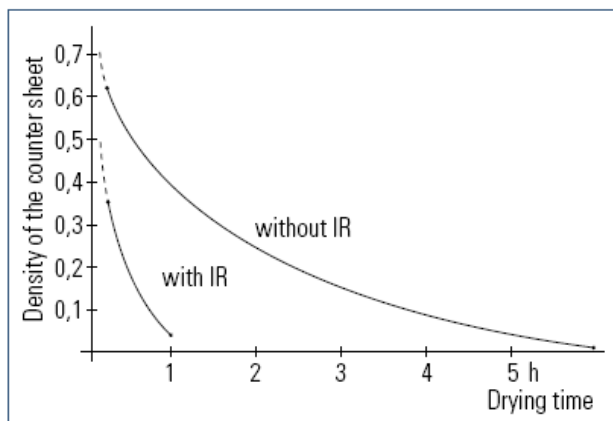
**Slika 3:** Sušenje z vročim zrakom.

### 2.2.3 Sevanje

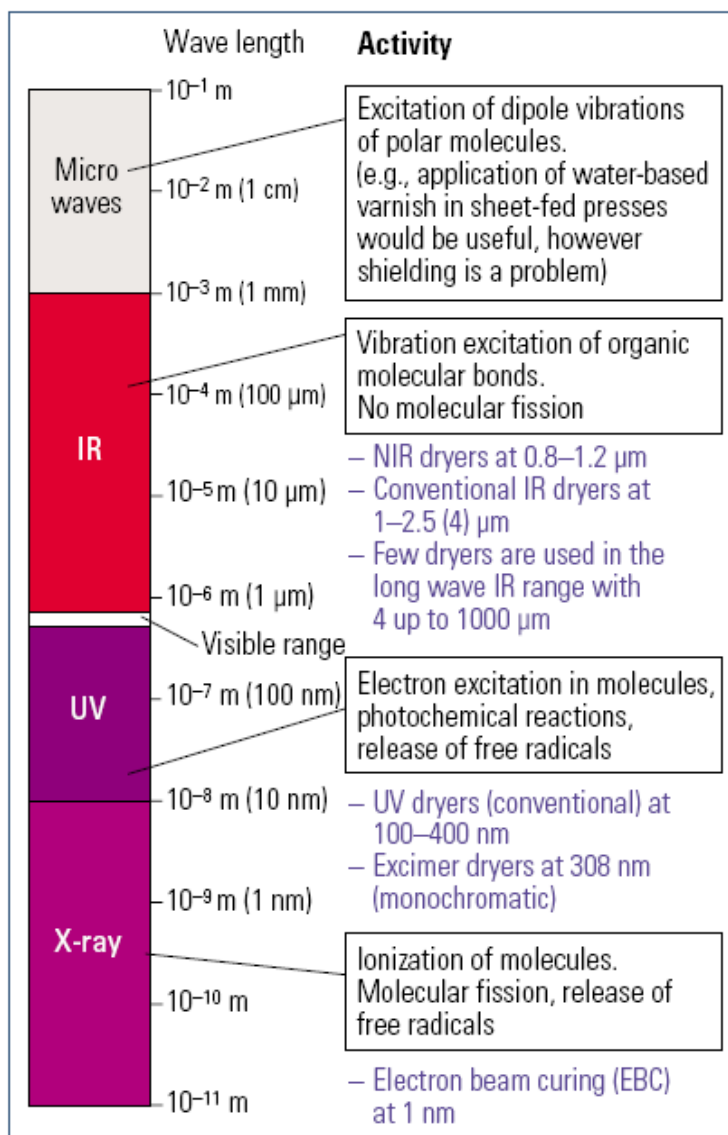
Pri tem postopku se uporablja infrardeče in mikro valove, torej sevanje z daljšo valovno dolžino in nižjo energijo, ki ne povzroči kemijskih sprememb. Uporablja se za materiale, ki so sposobni absorbirati takšno vrsto energije oz. takšno vrsto valovanja.

Izkušnje so pokazale, da do optimalnega prodiranja tiskarske barve pride pri sevanju s kratkimi- ali srednje-valovnimi IR grelci. Kratko-valovni grelci imajo največji grelni učinek, zaradi česar so v uporabi najpogostejše.

Prednosti sušenja s sevanjem sta hitra absorpcija barve in hitro končno sušenje, medtem ko glavne slabosti predstavljajo dragi sušilni stroji, večja poraba energije ter povečane temperature.



**Slika 4:** Vpliv sevanja z IR valovi na absorpcijo.



**Slika 5:** Spekter elektromagnetnega gretja pri sušenju tiskarske barve.



### 3 KEMIČNO SUŠENJE

#### 3.1 Vrste kemičnega sušenja

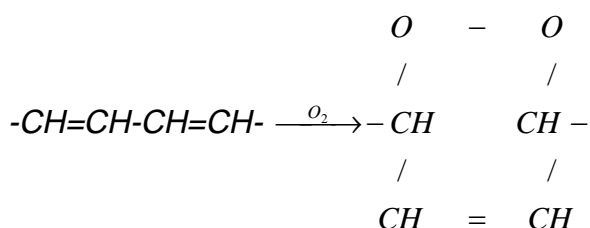
Poznamo več vrst kemičnega sušenja tiskarske barve, najpogosteje pa se v praksi uporabljajo oksipolimerizacija, sušenje z ultravijoličnim sevanjem ter sušenje z uporabo sevanja elektronov (EB sušenje). Vse vrste kemičnega sušenja imajo isto osnovo, saj vse temeljijo na polimerizaciji. Ločijo se po tem, kako pride do iniciacije, torej kaj povzroči nastanek prostih radikalov. Pri oksipolimerizaciji je to zračni kisik, pri UV sevanju so to kratki valovi elektromagnetnega valovanja, pri EB sušenju pa energija elektronov.

##### 3.1.1 Oksipolimerizacija

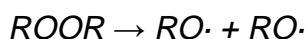
Kot že rečeno, gre pri oksipolimerizaciji za reakcijo, ki poteče le v prisotnosti zračnega kisika in seveda ustreznih katalizatorjev. V prvi fazi, iniciaciji, zračni kisik napade aktivirana mesta na verigi maščobne kisline (to so ogljikovi atomi ob dvojni vezi), nakar nastane peroksid (ROOR). Ker je nastali peroksid nestabilen, ta razpade na proste radikale, peroksidni radikal RO· pa reagira z naslednjo nenasičeno maščobno kislino in sproži reakcijo polimerizacije. Potek iniciacije izgleda takole:

#### 1. Faza: INICIACIJA

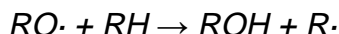
##### 1. Napad zračnega kisika:



##### 2. Nastanek peroksida:

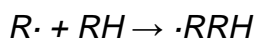


### 3. Reakcija polimerizacije:



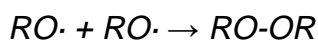
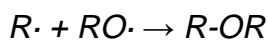
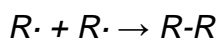
Za iniciacijo sledi rast molekule, saj so radikali zelo reaktivni in napadajo nove molekule maščobnih kislin. Verige se začno daljšati, ker pa molekule vsebujejo več dvojnih vezi, pa lahko pride tudi do zamreženja. Prisotnost kisika je še vedno potrebna, saj se v nasprotnem primeru reakcija ne bi nadaljevala.

### **2. Faza: RAST MOLEKULE**



Zatem je na vrsti zaključek reakcije, do katerega pride, če radikali reagirajo med seboj.

### **3. Faza: ZAKLJUČEK REAKCIJE**



Sušenje z oksipolimerizacijo lahko pospešimo z uporabo kombiniranih veziv, s predhodno obdelavo sušecih olj ter z dodatkom katalizatorjev sušenja, kot so Co, Mn in Ce soli.

#### *3.1.2 Sušenje s sevanjem*

Tudi pri sušenju s sevanjem gre za sušenje s pomočjo polimerizacije, le da tu za začetek reakcije in rasti molekul ne uporabljamo kisika, temveč do prostih radikalov pridemo z učinkovanjem elektromagnetnega valovanja. Za učinkovito sušenje mora biti energija elektromagnetnega valovanja dovolj visoka, da sproži reakcijo polimerizacije.

Sušenje s sevanjem prinaša kar nekaj prednosti, med njimi so najpomembnejše naslednje: tiskarska barva ne vsebuje strupenih topil, sušenje je primerno za materiale, pri katerih je absorpcija otežena, sušenje poteče hitro, ne potrebujemo grelnih agregatov, ne pride do segrevanja substrata, poleg tega imajo odtisi zelo dobro mehansko in toplotno obstojnost. Med slabosti sušenja s tem postopkom štejemo višje cene tiskarskih barv, dodatne investicije za sušilne aparate, dodatne zahteve glede zaščite pred škodljivim ultravijoličnim sevanjem ter drage UV svetilke.

Učinek sušenja s sevanjem je odvisen od energije sevanja (natančneje od energije fotona) ter od absorpcijske lastnosti veziva. Absorpcijska energija se pretvori v toplotno energijo ter sproži kemično reakcijo (do reakcije pride le pri sevanju z dovolj visoko energijo, to pomeni z valovno dolžino v območju UV žarkov ali krajših).

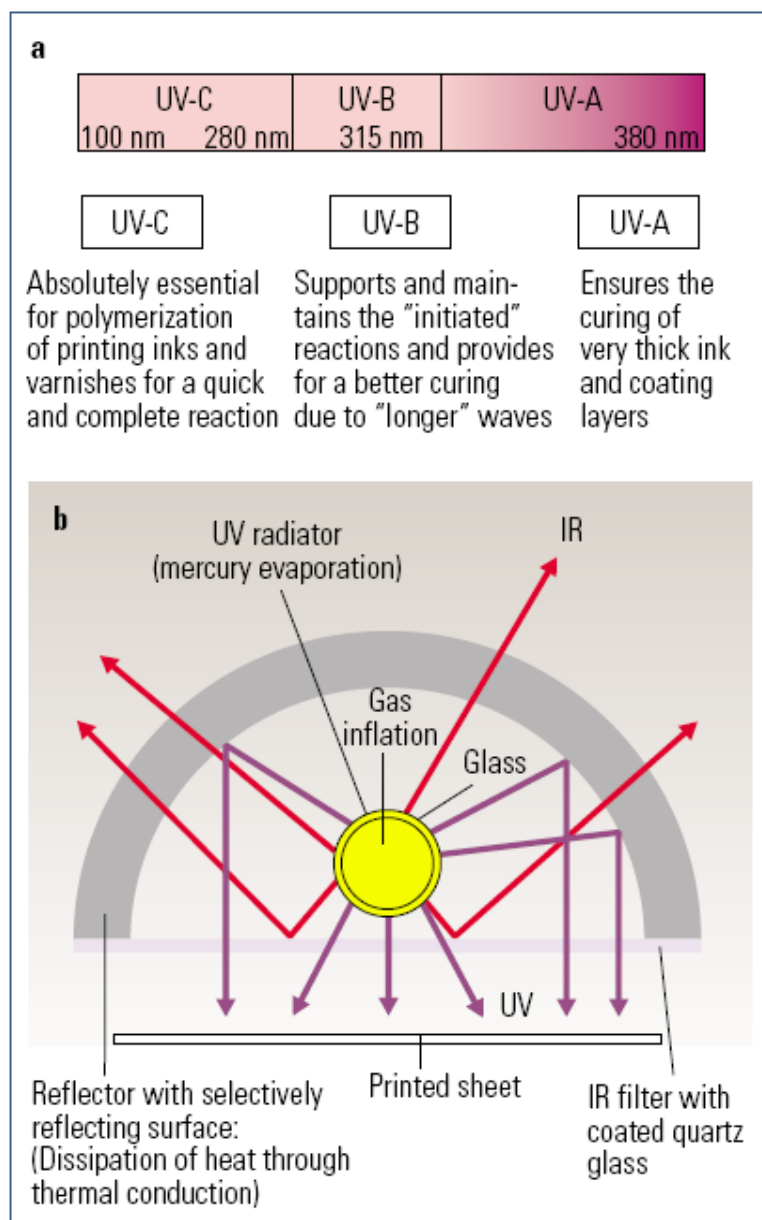
#### *3.1.2.1 Sušenje z UV sevanjem*

Ultravijolični žarki imajo za razliko od mikrovalov in IR žarkov dovolj visoko energijo, da povzročijo vzbujanje nekaterih molekul, kar posledično omogoča nastanek zelo reaktivnih prostih radikalov, nastale fotokemične reakcije pa vodijo do polimerizacije veziva in tako sušenja tiskarske barve.

Na sušenje z UV sevanjem vplivajo številni dejavniki. V prvi vrsti so tu značilnosti substrata, njegove optične lastnosti, ki določajo sposobnost prepuščanja in povratnega sipanja ultravijoličnih žarkov ter tako tudi hitrost zamrežena. Pomemben dejavnik je tudi lastnost elektromagnetnega valovanja, kjer sta valovna dolžina in moč sevanja odvisni od značilnosti svetlobnega vira. Pomembno je, da imata vir ultravijoličnih žarkov in fotoiniciator absorpcijski maksimum v isti točki. Nenazadnje pa sta pomembna tudi debelina nanosa tiskarske barve in vrsta ter koncentracija fotoiniciatorja. Ultravijolični žarki morajo prodreti v notranjost tiskarske barve, torej v celoten nanos. Intenzivnost sevanja se zmanjšuje eksponentno z debelino nanosa. Poleg tega je potrebno biti pozoren na fotoiniciator, saj ta absorbira UV žarke. Če je koncentracija fotoiniciatorja prevelika, se posuši le vrhnji del barve, če je premajhna, je polimerizacija premajhna in barva se ne posuši dovolj. Zato je potrebno najti optimalno koncentracijo fotoiniciatorja in intenzivnost sevanja za vsak primer posebej. Nenazadnje pa je pomembna tudi sestava tiskarske barve, saj mora biti ta zgrajena iz pigmenta, monomerov, oligomerov, fotoiniciatorja ter aditivov.

Pri sušenju z UV sevanjem imamo na voljo dva mehanizma sušenja: radikalsko polimerizacijo in kationsko polimerizacijo. Med njima je velika razlika, saj je pri radikalski polimerizaciji prisotnost UV žarkov potrebna ves čas (enako kot pri oksipolimerizaciji prisotnost kisika), medtem ko je pri kationski polimerizaciji UV sevanje potrebno za vzbujanje fotoiniciatorja.

Mehanizem reakcije polimerizacije pod vplivom sevanja UV žarkov poteče s pomočjo fotoiniciatorjev, ki so sposobni absorbirati UV valove in pri tem tvoriti proste radikale, potrebne za napad dvojnih vezi v monomerih in oligomerih akrilatov.



**Slika 6:** Sušenje z ultravijoličnim sevanjem.

## **1. Faza: NASTANEK PROSTIH RADIKALOV**

Pod vplivom ultravijoličnih žarkov molekula fotoiniciatorja absorbira energijo fotonov, pri čemer pride do razcepa vezi, razpada fotoiniciatorja ter do nastanka prostih radikalov.

Za večjo učinkovitost reakcije se pogosto dodajajo sinergisti, spojine, ki vsebujejo lahko odstranljive vodikove atome in sodelujejo s fotoiniciatorji v fazi nastanka prostih radikalov.

## **2. Faza: INICIACIJA**

Nastali radikali fotoiniciatorja napadejo molekule veziva, kar poteče zelo hitro.

## **3. Faza: RAST MOLEKULE**

Prosti radikali napadajo dvojne vezi v vinilnih ali akrilnih skupinah molekul veziva. Nastajajo novi prosti radikali, kar omogoča verižno reakcijo.

## **4. Faza: ZAKLJUČEK REAKCIJE**

Da pride do ustavitve polimerizacije, morajo v idealnih razmerah reagirati vse nenasičene molekule oziroma vsa reaktivna mesta. Vendar ima velik vpliv na končno stopnjo polimerizacije tudi znižana mobilnost reaktivnih molekul, ki nastopi kot posledica povečane viskoznosti filma. Do zaključka pride z združitvijo dveh radikalov, v nekaterih primerih pa lahko pride tudi do predhodne prekinitve polimerizacije s pomočjo inhibitorjev.

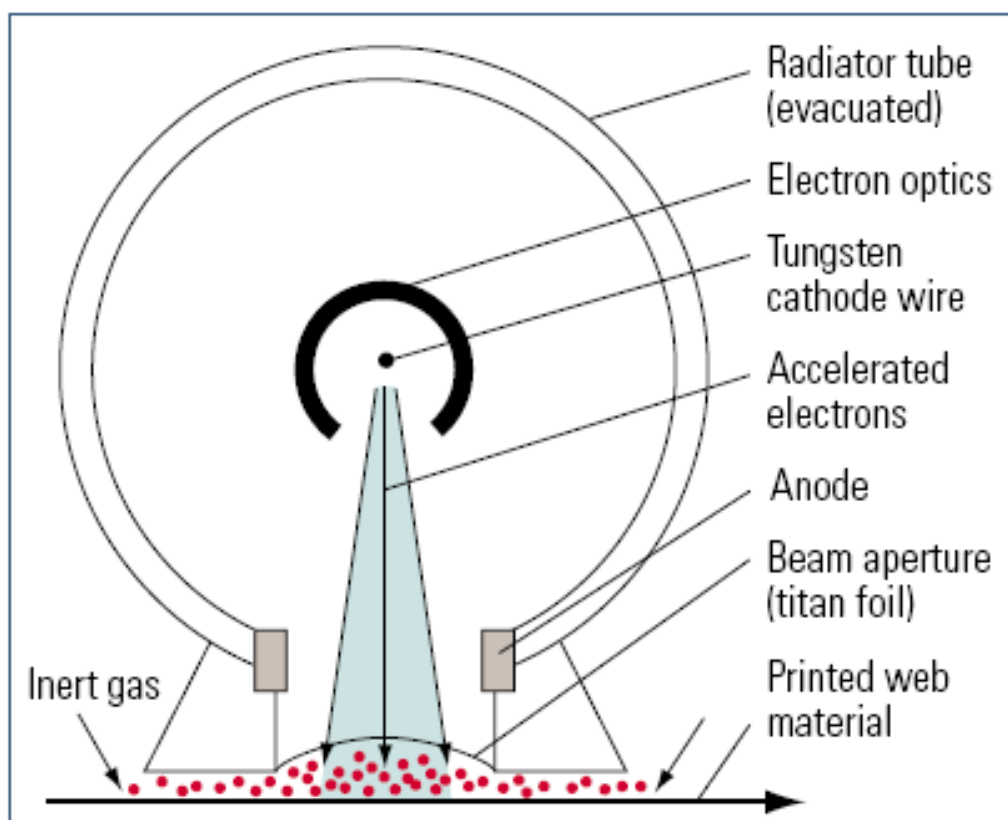
Radikalni mehanizem polimerizacije ima to slabost, da je potrebno UV žarke dovajati ves čas, medtem ko to ni potrebno pri kationskem mehanizmu. Slednja polimerizacija sicer poteka počasneje, vendar se reakcija nadaljuje tudi po odstranitvi vira, ki vzbuja molekule (torej po odstranitvi UV žarkov).

Za ta mehanizem je značilno, da se kovalentna vez v fotoiniciatorju razcepi in nastanejo ioni. Prednost tega je torej v tem, da zamreženje poteče tudi v debelih nanosih tiskarske barve, filmi imajo odlično adhezijo in so brez vonja. Kationski mehanizem se uporablja za sušenje debelejših nanosov na bolj problematičnih substratih.

### 3.1.3 Sušenje s sevanjem elektronov

Nekoliko manj je v uporabi tudi sistem sušenja s sevanjem elektronov. V tem primeru prisotnost fotoiniciatorja ni potrebna, saj je tok elektronov že sam po sebi zelo velik vir energije. Mehanizem reakcije je enak kot v primeru zamreženja pod vplivom UV žarkov.

Postopek ima prednosti v tem, da so tiskarske barve stabilne pri skladiščenju, sušenje poteka v trenutku tudi pri debelejših nanosih, topila niso prisotna, ne pride do segrevanja substrata in omogoča visoko mehansko in toplotno obstojnost. Vendar pa ima sušenje s sevanjem elektronov tudi slabosti, predvsem so to nevarnost sevanja, enota za sušenje mora vsebovati vir elektronov, ki je nameščen po celotni površini tiskanega materiala, tiskarske barve so drage, ker zračni kisik deluje kot inhibitor, sušenje poteka v dušikovi atmosferi, lahko pa pride tudi do poškodb substrata.



**Slika 7:** Sušenje s sevanjem elektronov.

### *3.1.4 Dodatne tehnike sušenja*

Dodatne tehnike sušenja se uporabljajo v primeru, ko nastali film ni dovolj trden in pride do odmazovanja tiskarskega nanosa ter zlepljanja posameznih listov med seboj. Cilj tega sušenja je torej trdna vezava tiskarske barve na substrat. Poznamo dve tehniki, nanos finega prahu ter nanos silikona.

#### *3.1.4.1 Nanos finega prahu*

Na potiskan substrat se nanese bela zrna v velikosti od 15 do 75  $\mu\text{m}$ , ki zagotavljajo dovolj prostora, da med potiskanimi listi ne pride do zlepljenja. Dovolj prostora med listi omogoča dostop kisika in dokončno sušenje z mehanizmom oksipolimerizacije.

Vendar je potrebno biti pri nanosu finega prahu previden, saj lahko nepravilen nanos poslabša kvaliteto odtisov.

#### *3.1.4.2 Nanos silikona*

Po končanem tiskanju se substrat prevleče s tanko plastjo silikona (emulzija olja v vodi), ki prepreči zlepljanje papirjev med seboj. Slabost tega je v tem, da se tiskarska barva pod silikonom do konca ne posuši niti v parih dneh, zaradi česar lahko pride do razmazovanja po odstranitvi silikonske plasti.

## 4 KOMENTAR

Mogoče nekateri mislijo, da je največji poudarek potrebno dajati kakovosti tiska, dobrim primarnim tiskarskim barvam, ostrini in podobnemu, vendar velja poudariti, da ima vrsta sušenja tiskarske barve velik pomen pri tisku. Od tega, kako bomo tiskarsko barvo sušili, je odvisna izbira barve, izbira substrata ter nenazadnje izbira tehnike tiska. Pri celotnem procesu tiska je tako potrebno gledati veliko bolj prostorsko, na več faz hkrati, saj vsaka posredno ali pa neposredno vpliva na druge. Vedno je potrebno najti najidealnejšo kombinacijo v danih pogojih, saj najhitrejša sušenje z odličnim vsidranjem barve v substrat še ne pomeni najbolj ostrega in barvno najbolj kvalitetnega tiska.



## 5 ZAKLJUČEK

Prizadevanje, da končni izdelek ustreza standardom oziroma jih mogoče celo preseže, je glavno vodilo tiskarja in pri tej zahtevni nalogi se je potrebno ozirati na vsako še tako majhno fazo v procesu tiska. Dandanes tiskarski stroji dosegajo neverjetne hitrosti tiska (do 4 metre na sekundo), pri čemer bi bilo neumno zanemariti pomembnost sušenja barve. Pri takih hitrostih se mora tiskarska barva izredno hitro zasidrati v substrat, da ne pride do zlepljenja listov ali pol med seboj ter do razmazovanja barve ter posledično nekvalitetnega rezultata.

Sušenje zna biti kompleksen postopek, vendar se z obvladovanjem le-tega doseže zavidljive rezultate. Med vsemi metodami je največjo pozornost potrebno posvetiti sušenju s sevanjem UV žarkov, saj ta način omogoča tisk tudi na neporozne materiale, kjer fizikalno sušenje ni mogoče. Če delamo le s papirjem kot substratom, tam do sušenja pride že zaradi absorpcije, medtem ko je izhlapevanje odvisno od sestave tiskarske barve. Slednje je namreč prisotno pri vsaki tiskarski barvi, saj morajo molekule topila zapustiti barvo, od tehnike pa je odvisno, kako bomo dovedli toploto in v primeru kemičnega sušenja poskrbeli za zamreženje.

## LITERATURA

- KIPPHAN, H. Drying Methods. V *Handbook of Print Media: Technologies and Production Methods*. Uredil H. Kipphan, Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Hongkong; London; Milano; Pariz; Singapur; Tokio, 2001, str. 166 – 179.