

UNIVERZA V LJUBLJANI
NARAVOSLOVNOTEHNIŠKA FAKULTETA

DIPLOMSKO DELO

PRIMOŽ ZUPANČIČ

LJUBLJANA, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
NARAVOSLOVNOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA TEKSTILSTVO, GRAFIKO IN OBLIKOVANJE

**VPLIV TEMPERATURE GRELEGA VALJA NA TRDNOST
SPOJA LAMINACIJE**

DIPLOMSKO DELO

PRIMOŽ ZUPANČIČ

LJUBLJANA, julij 2016

UNIVERSITY OF LJUBLJANA
FACULTY OF NATURAL SCIENCE AND ENGINEERING
DEPARTMENT OF TEXTILES, GRAPHIC ARTS AND DESIGN

**IMPACT OF HEATING ROLLER TEMPERATURE ON
ADHESION STRENGTH OF LAMINATES**

DIPLOMA THESIS

PRIMOŽ ZUPANČIČ

LJUBLJANA, July 2016

PODATKI O DIPLOMSKEM DELU

Število listov: 42

Število strani: 31

Število slik: 12

Število preglednic: 11

Število literarnih virov: 15

Število prilog: 0

Študijski program: visokošolski strokovni študijski program Grafična tehnika

Komisija za zagovor diplomskega dela:

Predsednica: doc. dr. Urška Vrabič Brodnjak

Mentorica: prof. dr. Diana Gregor Svetec

Članica: izr. prof. dr. Sabina Bračko

Ljubljana,.....

ZAHVALA

Zahvaljujem se direktorju podjetja Ekoplast Mateju Koleši, ki si je vzel čas za pomoč in izdelavo preizkušancev.

Posebna velika zahvala gre Katji Jarm za lektoriranje diplomskega dela in pomoč pri urejanju besedila.

Iskrena hvala Tomažu Stergarju za strokovno pomoč pri izvedbi eksperimentalnega dela diplomske naloge.

Hvala mentorici profesorici Diani Gregor Svetec za strokovno pomoč in vodenje tekom izdelave diplomske naloge.

IZVLEČEK

Namen diplomskega dela je bil preučiti, kakšen vpliv ima temperatura grelnega valja na trdnost spoja papirja in folije pri laminaciji. V tiskarski industriji se pogosto pojavljajo težave z delaminacijo folije, zato smo želeli ugotoviti, katera temperatura grelnega valja najbolje spoji folijo in substrat, da ju je kar najtežje ločiti. Vsi preizkušanci (laminiranega) papirja so bili laminirani z BOPP (biaksialno orientiran polipropilen) folijo z isto hitrostjo in pritiskom, spreminjala se je le temperatura grelnega valja. Začetna temperatura je bila 75 °C, nato pa smo dvigali temperaturo postopoma po 5 °C do končne temperature 115 °C. Tako laminirani preizkušanci so bili pripravljani v skladu s standardom ISO11339:2011. To je standard za merjenje sil T-razslojevanja dveh gibkih lepljencev. Na preizkušancih so bile izvedene meritve na Instronu, napravi za merjenje sil, ki nastanejo pri razslojevanju dveh lepljencev. Izmerjene so bile maksimalna sila razslojevanja, minimalna sila razslojevanja in povprečna sila razslojevanja tako za posamezne preizkušance kot za cele pole. Rezultati meritev so pokazali, da pri prenizki temperaturi grelnega valja lahko pride do težav. Na naših preizkušancih se je izkazalo, da se lepilo v primeru temperature grelnega valja, nižje od 80 °C, ne sprime dovolj močno z obema lepljencema, kar ima za posledico delaminacijo. Meritve in izračuni so še pokazali, da se z višanjem temperature grelnega valja poveča tudi sila, ki je potrebna za razslojitev preizkušanca, vendar samo do optimalne temperature, ki je bila v našem primeru 105 °C, nakar se jakost spoja prične ponovno zmanjševati.

Ključne besede: vroča laminacija papirja, sila razslojevanja, grelni valj, laminirna folija, delaminacija.

ABSTRACT

Impact of heating roller temperature on adhesion strength of laminates

In diploma thesis the impact of heating roller temperature on adhesion strength of laminates has been researched. During everyday work during thermal laminating of paper problems with film delamination can appear. Objective of this study was to establish which temperature is needed for heating roller to bond thermal laminating film and substrate optimally, so consequently it is difficult to separate them. Samples of paper were laminated with BOPP (biaxially oriented polypropylene) film, where the velocity and pressure were constant and the heating roller temperature was changing. Initial roller temperature was 75 °C, increasing with 5 °C interval till the final temperature of 115 °C. Laminated samples were processed in concordance with ISO11339:2011 standard, T-peel test for flexible-to-flexible bonded assemblies. For measuring peeling adhesion force the Instron machine was used. The maximum, minimum and average peeling force were measured for individual paper samples and for whole paper panels. Measurements indicated lamination problems in case of low heating roller temperature. In fact, below 80 °C the hot melt adhesive did not bond sufficiently with both adherends which led to delamination of samples. Furthermore, together with heating roller temperature increase the measurements and calculations proved increase of force, needed for samples delamination, too. However, the peeling force was higher only by 105 °C, when the adhesion strength began to decrease again.

Key words: Thermal lamination of paper, peel adhesion, heating roller, laminating film, delamination.

VSEBINSKO KAZALO

IZVLEČEK	iii
ABSTRACT	iv
VSEBINSKO KAZALO	v
SEZNAM SLIK	vii
SEZNAM PREGLEDNIC	viii
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	ix
1. UVOD	1
2. TEORETIČNI DEL	3
2.1 Postopek vroče laminacije	3
2.2 Folije	3
2.2.1 Polipropilen (PP)	4
2.2.2 Biaksialno orientirani polipropilen (BOPP)	4
2.2.3 Orientirani polipropilen	5
2.3 Lepila	5
2.4 Površinske lastnosti folij	5
2.5 Strojna oprema za laminacijo	8
2.5.1 Vlagalni sistem	8
2.5.2 Laminirna enota	8
2.5.3 Ločevalec in izlagalni sistem	9
2.6 Sila razslojevanja	10
3. EKSPERIMENTALNI DEL	12
3.1 Opis materialov	12
3.2 Oprema	13
3.3 Postopek laminacije in priprava preizkušancev	13
3.4 Opis metod	14
4. REZULTATI MERITEV	16
5. RAZPRAVA O REZULTATIH Z ZAKLJUČKI	25
5.1 Vizualna ocena preizkušancev	25
5.2 Maksimalna sila razslojevanja	26
5.3 Minimalna sila razslojevanja	27
5.4 Povprečna sila razslojevanja	28

6. ZAKLJUČEK	29
7. LITERATURA	30

SEZNAM SLIK

Slika 1: Kemijska formula polipropilena.....	4
Slika 2: Prikaz površinske energije na dveh substratih.....	6
Slika 3: Obdelava s korono.....	7
Slika 4: Laminirna enota.....	8
Slika 5: Metodi FINAT za razslojevanje.....	10
Slika 6: Razslojevanje dveh gibkih preizkušancev, T-rzslojevanje.....	11
Slika 7: Laminirani poli papirja, kjer se zadnji in sprednji del pole prekrivata.....	13
Slika 8: Priprava in razrez pole na posamezne preizkušance.....	14
Slika 9: Posnetek razslojevanja na Instronu.....	25
Slika 10: Izračunana povprečna maksimalna sila razslojevanja za vse preizkušance.....	26
Slika 11: Izračunana povprečna minimalna sila razslojevanja za vse preizkušance.....	27
Slika 12: Izračunana povprečna sila razslojevanja za vse preizkušance.....	28

SEZNAM PREGLEDNIC

Preglednica 1: Površinska energija folij.....	6
Preglednica 2: Površinska energija pri tiskarskih postopkih	6
Preglednica 3: Meritve na preizkušancih, laminiranih s temperaturo 75 °C.....	16
Preglednica 4: Meritve na preizkušancih, laminiranih s temperaturo 80 °C.....	17
Preglednica 5: Meritve na preizkušancih, laminiranih s temperaturo 85 °C.....	18
Preglednica 6: Meritve na preizkušancih, laminiranih s temperaturo 90 °C.....	19
Preglednica 7: Meritve na preizkušancih, laminiranih s temperaturo 95 °C.....	20
Preglednica 8: Meritve na preizkušancih, laminiranih s temperaturo 100 °C.....	21
Preglednica 9: Meritve na preizkušancih, laminiranih s temperaturo 105 °C.....	22
Preglednica 10: Meritve na preizkušancih, laminiranih s temperaturo 110 °C.....	23
Preglednica 11: Meritve na preizkušancih, laminiranih s temperaturo 115 °C.....	24

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ASTM	Ameriško združenje za testiranje in materiale (American Society of the International Association for Testing and Materials)
BOPP	biaksialno orientiran polipropilen
EVA	etilen vinil acetat
FINAT	Mednarodno združenje proizvajalcev in predelovalcev samolepilnih in termoobčutljivih papirnih in ostalih medijev (Fédération INTERNATIONALE des fabricants et transformateurs d'Adhésifs et Thermocollants sur papiers et autres support)
HD-PE	polietilen visoke gostote
ISO	Mednarodna organizacija za standardizacijo (International Organization for Standardization)
LD-PE	polietilen nizke gostote
OPP	orientiran polipropilen
PE	polietilen
PET	polietilentereftalat
PP	polipropilen
UV	ultravijolična

1. UVOD

Laminacijo uvrščamo med postopke površinske obdelave tiskovin. Z laminacijo tiskovino oplemenitimo in hkrati zaščitimo. V proizvodnji ofsetnega tiska na pole se največ uporabljata dve tehniki plastificiranja oziroma laminacije, in sicer hladna in vroča laminacija (1). V proizvodnji in nekateri literaturi se uporabljata tudi izraza mokra in suha laminacija (1). Hladna in vroča laminacija se razlikujeta po vrsti strojev, na katerih laminiramo, in po vrsti folij za laminacijo, končni učinek pa je načeloma enak. V zadnjih dvajsetih letih je z razvojem tehnologij izdelave polipropilenskih (PP) folij vroča laminacija praktično povsem izpodrinila hladno. Pri klasičnem ofsetnem tisku na pole je vroča laminacija prevladujoča tehnika. Hladna laminacija je največ v uporabi pri tisku na embalažo, kjer ima embalaža izsekana okna.

Poznamo več vrst folij za laminacijo, med seboj se razlikujejo po kemični sestavi, debelini, površinski obdelavi in vizualnem učinku. Temeljna razlika med folijo za hladno in vročo laminacijo je v lepilu. Lepilo se pri hladni laminaciji nanaša na folijo neposredno na samem stroju za laminacijo, medtem ko je na foliji za vročo laminacijo lepilo nanoseno nanjo že med samo izdelavo folij in se na stroju s pomočjo toplote samo aktivira (2).

V diplomskem delu se bomo posvetili vroči oziroma suhi laminaciji s preprostim razlogom, ker je ta tehnika najbolj v uporabi. Osredotočili se bomo na jakost spoja laminacije, to je, kolikšna sila je potrebna za delaminacijo oziroma ločitev folije od substrata in kakšna je povezava s temperaturo grelnega valja.

Grelni val je glavni del laminirnega stroja, ki aktivira talilno lepilo in s tem sproži postopek lepljenja folije na substrat. Dejstvo je, da proizvajalci določajo temperaturne okvirje, v katerih se folija uporablja, vsak uporabnik pa mora sam ugotoviti, katera temperatura ustreza njegovim pogojem dela. Na temperaturo za optimalno laminacijo vplivajo: debelina folije za laminacijo, hitrost laminacije, vrsta stroja, vrsta substrata ipd (3). V proizvodnji ocenjujejo kakovost laminacije vizualno; folija mora biti lepo gladka po celi površini brez zavitkov, na površini ne sme biti zračnih mehurčkov.

V diplomskem delu bomo skušali določiti optimalno temperaturo, pri kateri je spoj laminacije najbolj trden. Merili bomo maksimalno silo, minimalno silo in povprečno silo, ki so potrebne za ločitev folije od tiskovnega materiala. Na podlagi teh meritev bomo določili, katera temperatura grelnega valja najbolje spoji folijo in tiskovni material, da

ju je kar najtežje ločiti. Namreč v dodelavnih postopkih, kot so žlebljenje, zgibanje in rezanje, lahko slab spoj hitro prinese težave in posledično reklamacije.

2. TEORETIČNI DEL

V industriji se najpogosteje uporablja vroča laminacija, ker ima določene prednosti v primerjavi s hladno. Glavna prednost vroče laminacije je, da je izdelek končan praktično v trenutku, ko pride iz stroja. Tako ne izgubljam časa s sušenjem. Druga velika prednost je, da izdelka ne omočimo z mokrim lepilom in mu s tem ne spreminjamo dimenzionalnih lastnosti, ki se pojavijo, ko se papir zmoči in vlakna nabreknejo, hkrati pa izdelek ne porumeni.

Pri vročem tisku je pomembno poudariti, da se laminirani izdelki lahko nadalje obdelujejo pod pogojem, da je folija površinsko obdelana s tako imenovano obdelavo s korono.

2.1 Postopek vroče laminacije

Vroča oziroma suha laminacija je postopek, kjer se folija spoji s tiskovnim materialom s pomočjo toplote in pritiska. Na notranji strani folije je nanešeno talilno lepilo, ki se aktivira s pomočjo toplote, pri ohlajanju pa dobi vezivne lastnosti. Poleg tako obdelanih folij za laminacijo potrebujemo še stroj za laminacijo, katerega glavna značilnost je grelni valj. Grelni valj aktivira lepilo in s pomočjo pritisnega valja spoji folijo s substratom. Takoj ko zgubi stik z grelnim valjem, se začne lepilo ohlajati in postane lepljivo.

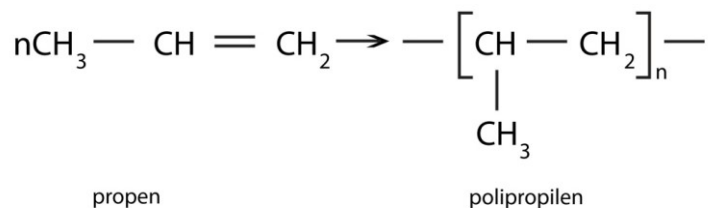
Vroča laminacija ima več prednosti v primerjavi s hladno laminacijo. Izdelek je takoj po laminaciji pripravljen za nadaljnjo obdelavo. Ker ne uporabljamo tekočih lepil, nimamo težav z neenakomernimi nanosi lepila in izgubo časa s pranjem stroja.

2.2 Folije

Poznamo več vrst folij za vročo laminacijo. Med seboj se razlikujejo po vizualnem učinku, ki ga ustvarjajo, in po izdelavi oziroma sestavi. Pri folijah ni pomembna samo zaščita, ki jo ustvarijo, ampak tudi njihov vizualni učinek. Sprva so bile v uporabi samo folije z mat in sijaj učinkom, v zadnjih letih pa so se na trgu pojavile folije z drugimi vizualnimi učinki. V zadnjem času so najbolj aktualne zaščitne folije (*angl.* antiscuff) in strukturne folije. Za izdelavo folij se največkrat uporabljajo polimeri, najpogosteje polipropilen (PP), v porastu pa sta tudi poliester (PET) in poliamid (najlon) (PA).

2.2.1 Polipropilen (PP)

Polipropilenska folija je material, ki se največ uporablja pri izdelavi folij za laminacijo predvsem zaradi tega, ker ima najboljše razmerje med ceno in kakovostjo. Njene glavne lastnosti so visok sijaj, dobra transparentnost, ne prepuščajo plinov in vlage, hkrati pa so tudi ekonomsko ugodne (4). Polipropilen podobno kot polietilen proizvajajo z radikalsko polimerizacijo, kot je prikazano na sliki 1.



Slika 1: Kemijska formula polipropilena

S Ziegler-Nattovim katalizatorjem polimerizirajo propen v polipropilen. Ta ima gostoto 0,90–0,91 g/cm³ in je bolj trd kot polietilen visoke gostote. Tudi ta polimer je delno kristaliničen, slabo transparenten do netransparenten (opačen). Odlikujeta ga velika mehanska žilavost in odpornost proti obrabi. Fiziološko je neoporečen ter odporen proti toploti in kemikalijam (5). Če PP folijo raztegujemo v določeno smer, dobimo orientirani polipropilen (OPP). Če pa folijo raztezamo v dve med seboj pravokotni smeri (biaksialno), dobimo biaksialno orientirani polipropilen (BOPP).

PP folije imajo prednost, da se enostavno obdelajo tako, da lahko nudijo tako sijajen kot tudi mat oziroma pol mat učinek. Največ se uporabljajo pri izdelavi ovitkov revij, knjig z mehko vezavo, vrečk, map in embalaže. Ker je ta folija izredno prožna, je uporabna pri izdelkih, ki se zgibajo oziroma žlebijo (4).

2.2.2 Biaksialno orientirani polipropilen (BOPP)

Biaksialno orientirani polipropilen je material, ki se najpogosteje uporablja za izdelavo sijajnih folij za laminacijo. Proizvaja se tako, da se folija glede na stroj razteguje v vzdolžni in prečni smeri. S tem dosežemo, da se veriga molekul orientira v dve med seboj pravokotni smeri. Folija tako dobi v obeh smereh enake raztezne lastnosti. BOPP se proizvaja na napravah za ekstrudiranje z okroglimi in z ravnimi šobami, kar je tudi najbolj pogost postopek predvsem za izdelavo sijajnih, transparentnih folij.

Rezultati biaksialne orientacije so večja žilavost, večja jakost in prozornost (jasnost), večja odpornost na olja in masti ter boljša zaščita proti hlapom in oksidaciji (6).

2.2.3 Orientirani polipropilen

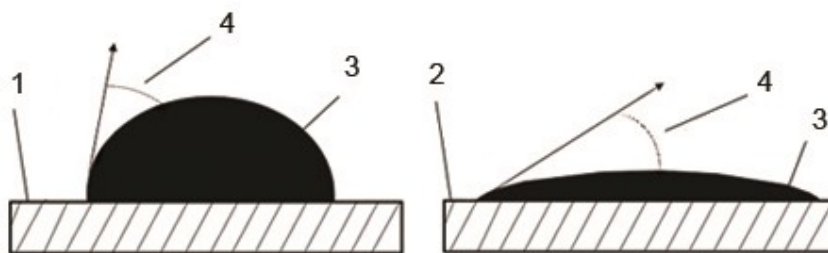
Orientirani polipropilen (OPP) se proizvaja tako, da se polipropilenska folija razteguje v vzdolžni smeri, pri tem se molekule orientirajo v smeri natezne sile. Fizične lastnosti folije so odvisne od stopnje orientacije. OPP folije nudijo dober sijaj, so transparentne in imajo veliko natezno trdnost. Prav tako nudijo dobro zaščito pred drgnjenjem in vlago. Njihova slaba stran je, da se pogosto trgajo (6).

2.3 Lepila

Pri vroči laminaciji se uporabljajo talilna lepila, ki se v tankem sloju nanesejo na spodnjo stran folij. Glavna lastnost talilnih lepil je, da so pri normalnih temperaturah v trdnem stanju, s segrevanjem se zmehčajo, pri višjih temperaturah pa postanejo tekoča in tako pri ohlajanju dobijo vezivne lastnosti. Talilna lepila so sestavljena iz veziv, voskov in lepljivih smol. Vezivo oziroma osnova za ta lepila so termoplastični polimeri (5). Večina talilnih lepil ima za osnovo etilen vinil acetat (EVA), lahko pa se uporabljajo tudi poliamidi in poliestri (7). EVA služi za osnovo oziroma vezivo pri taljivih lepilih, ki se uporabljajo pri izdelavi folij za laminacijo. Glavna prednost EVA je, da ima veliko temperaturno stabilnost in možnost mešanja z različnimi modifikatorji. Pri talilnih lepilih na osnovi EVA lahko spreminjamo lastnosti z vsebnostjo vinil acetata in mulekulsko maso EVA. Za doseganje dovolj velike kohezije mora biti mulekulska masa EVA zelo velika, kar pa povzroča večjo viskoznost in slabšo adhezijo lepila. Zato se dodajajo dodatki, kot so smole in voski, kateri zmanjšajo viskoznost in povečajo adhezivnost (5).

2.4 Površinske lastnosti folij

Folija mora imeti dobre adhezivne lastnosti, če želimo, da se dobro spoji s substratom. Pri tem igra glavno vlogo površinska energija, ki se meri v dyn/cm oziroma mN/m. Folija mora imeti zadostno površinsko energijo, kot je prikazano na sliki 2, da se nanjo dobro prime taljivo lepilo ali ostali materiali v primeru nadaljnje obdelave. Kontaktni kot med tiskovnim substratom in lepilom oziroma med barvo in lakom mora biti čim manjši, kot je razvidno na sliki 2.



Slika 2: Prikaz površinske energije na dveh substratih (lit. vir 8)

1 - substrat z majhno površinsko energijo 31 dyn/cm, 2 - substrat z veliko površinsko energijo 42 dyn/cm, 3 - lepilo, 4 - kontaktni kot.

Površinska energija folije mora biti vsaj za 7 do 10 dyn/cm večja od površinske energije materiala, ki ga hočemo spojiti s folijo. PP in PE sta znana po tem, da imata zelo majhno površinsko energijo, ki je pri netretiranih folijah okrog 30 do 32 dyn/cm, kar je razvidno iz preglednice 1 (8). Če želimo, da je folija čvrsto spojena s tiskarskim substratom, mora imeti večjo površinsko energijo, kakor je razvidno iz preglednice 2. Za povečanje površinske energije je potrebno folijo površinsko obdelati (9).

Preglednica 1: Površinska energija folij

Folije	Površinska energija
PP	29 dyn/cm
LD-PE	31 dyn/cm
HD-PE	32 dyn/cm
BOPP	32 dyn/cm

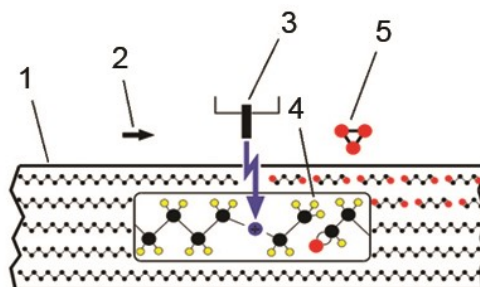
Preglednica 2: Površinska energija pri tiskarskih postopkih

Tiskarski postopki	Površinska energija
Tisk - tiskarske barve na osnovi topil	40-42 dyn/cm
Tisk - tiskarske barve na vodni osnovi	46-48 dyn/cm
Lakiranje	44-54 dyn/cm
Laminacija	46-56 dyn/cm

Folija se površinsko obdelava na več načinov, najpogostejši je obdelava s korono. Poznamo še obdelavo s plazmo in obdelavo s plamenom, ki pa nista tako pogosti v industriji, saj površina relativno hitro izgubi pridobljeno površinsko energijo.

Korona je vidni električni naboj, ki se pojavi, ko se visokonapetostni in visokofrekvenčni električni potencial prenese na elektrode majhnega premera relativno blizu električne ničle – ozemljitve. Rezultat tega je električni naboj, poznan kot naboj korona. Ta naboj povzroči delno ionizacijo obdajajoče atmosfere, ki se lahko uporabi za modifikacijo površine (10).

Obdelava s korono izboljšuje adhezivne lastnosti materialov - folij, ki imajo majhno površinsko energijo. Uporabna je predvsem pri sintetičnih in nepolarnih materialih, kot so PP, PE, PE visoke gostote (HD-PE), PE nizke gostote (LD-PE). Ti sintetični materiali vsebujejo dolge homogene molekularne verige, ki tvorijo čvrst in homogen produkt brez prostih funkcionalnih skupin na površini, kot lahko vidimo na sliki 3. Zaradi tega je material slabo lepljiv oziroma omočljiv, kar je velik problem pri nadaljnji obdelavi folije (10).



Slika 3: Obdelava s korono (lit. vir 8)

1 - substrat, 2 - smer, v kateri potuje substrat, 3 - naprava za obdelavo s korono, 4 - proste vezi, 5 - ozon.

Pri obdelavi z nabojem korona se elektroni pospešeno usmerijo v površino snovi, zaradi česar se dolge verige cepijo in nastane množica prostih vezi, ki lahko tvorijo valence. Zaradi električnega naboja se sprošča ozon, ki povzroči oksidacijo. Ta tvori nove karbonilne skupine z večjo površinsko energijo. Rezultat je izboljšanje kemičnih vezi med molekulami v foliji in materialom ali snovi, ki jo nanašamo na folijo. Površinska obdelava ne spreminja in ne zmanjšuje moči ali izgleda materiala. Obdelava s korono spreminja samo zgornjo molekularno verigo, ki je debela 0,00001 mikronov (8).

2.5 Strojna oprema za laminacijo

Stroji za laminacijo so v osnovi sestavljeni iz treh delov, in sicer vlagalne enote, laminirne enote in izlagalne enote. Vlagalna enota skrbi za nemoten vnos pol v stroj, laminirna enota združi posamezne pole s folijo, ločevalec ločuje zaradi folije spojene pole in s pomočjo izlagalnega sistema zlaga pole v sklad.

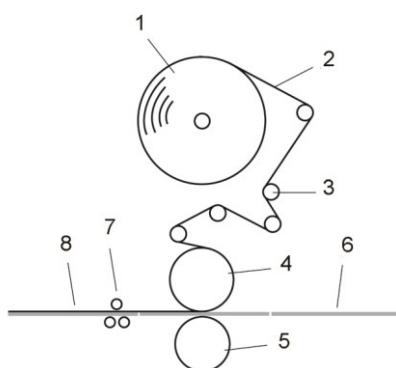
Zelo pogosto naletimo tudi na laminirne stroje, ki imajo po laminirni enoti dodano enoto za UV sitotisk ali UV fleksotisk.

2.5.1 Vlagalni sistem

Vlagalne enote pri laminirnih strojih so v večini primerov zelo podobne vlagalnim enotam pri offsetnih tiskarskih strojih. Nekateri proizvajalci vgrajujejo celo identične sisteme. Enota je sestavljena iz vlagalne mize, kamor se naloži tiskovina. Na vrhu mize je vlagalna glava, ki jemlje posamezne pole z vrha skladovnice in jih nalaga na transportno mizo. Transportna miza pošilja pole do laminirne enote.

2.5.2 Laminirna enota

Enota za laminacijo je sestavljena, kot je razvidno s slike 4, iz grelnega valja, imenovanega tudi kalander, pritisnega valja in sistema valjev za odvijanje in ravnanje folije. Glavni del te enote je grelni valj, ki tali lepilo na foliji in s tem omogoča lepljenje. Temperaturo lahko uravnavamo. To je pomembno predvsem zaradi hitrosti stroja; pri manjši hitrosti je potrebna nižja temperatura in pri večji hitrosti višja temperatura, da lepilo reagira.



Slika 4: Laminirna enota (lit. vir 11)

1 - zvitek folije, 2 - folija, 3 - valji za glajenje in ravnanje folije, 4 - grelni valj, 5 - pritisni valj, 6 - substrat, 7 - ločevalec substratov, 8 - laminiran substrat.

Izdelovalci strojev najpogosteje uporabljajo dve tehnologiji grelnih valjev. Prva za segrevanje uporablja elektriko, druga cirkulacijo tekočine (12).

Električni sistem ima grelec v samem valju, ki oddaja temperaturo neposredno na zunanji plašč valja, kar omogoča zelo enostavno uravnavanje in hitro odzivnost. Večina sistemov ima termometrični senzor v samem plašču valja, torej kar najbližje površini valja. Izmerjen signal se prenese neposredno na regulator temperature, ki uravnava količino električne energije, ki je potrebna za segrevanje. Ta sistem omogoča preprosto uravnavanje in je hitreje odziven v primerjavi s sistemi, ki uporabljajo tekočino (12).

Pri sistemih s cirkulacijsko tekočino se najpogosteje uporabljata voda in olje, ki se segrejeta v zunanjem rezervoarju in potem krožita skozi sistem in valj. Senzor za merjenje temperature je ponavadi v valju ali v rezervoarju. Slaba stran tega sistema je, da za ohlajanje potrebuje več časa, prav tako regulacija ni tako natančna, saj se meri temperatura v tekočini. Njegova prednost je manjša poraba energije in cenejša proizvodnja (12).

Drugi pomembni del enote za laminacijo je pritisni valj. Pritisni valj skrbi za enakomeren pritisk folije in substrata na grelni valj, tako da se substrat in folija čvrsto spojita med seboj. Pritisni valji so gumirani in odporni na visoke temperature.

Tretji del laminirne enote je odvijalec za folijo skupaj z grozdom valjev za ravnanje folije. Odvijalec je sistem, kamor namestimo zvitek folije, da se nadzorovano odvija; pomeni, da ima odvijalec vgrajen motor in zavoro za enakomerno odvijanje folije. Grozd gladilnih valjev poskrbi, da je folija enakomerno napeta in poglajena po celi površini. Kakršnokoli gubanje ali zatikanje namreč povzroča maklature (11).

2.5.3 Ločevalec in izlagalni sistem

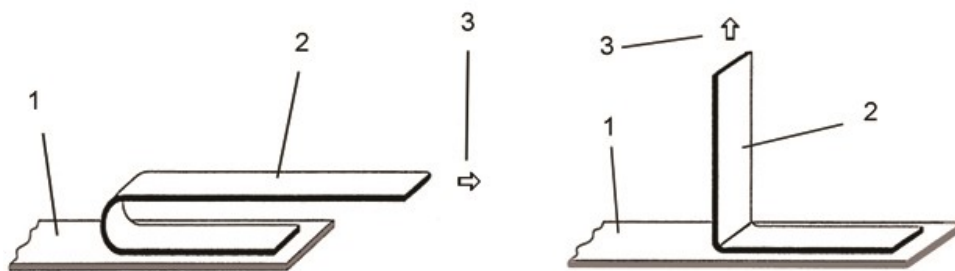
Izlagalni sistem je pri večini strojev sestavljen iz dveh delov. Prvi del je tako imenovan ločevalec pol, drugi del pa je izlagalna miza. Ločevalec poskrbi za ločevanje pol, saj pole iz laminirne enote prihajajo zlepljene na folijo, ki se aplicira iz role v obliki traku, tako da so folije prilepljene na trak. Za ločevanje se najpogosteje uporabljata dva načina: prvi je s pomočjo noža, drugi s pomočjo spremembe hitrosti vrtenja valjev (12).

Izlagalna miza je podobna mizam pri klasičnih offset strojih za izlaganje pol s stranskimi ravnalci pol, ki zagotavljajo enakomerno izlaganje. Pri manjših sistemih je lahko ta miza tudi tako imenovana tresulja, saj s pomočjo svoje poševne lege in tresenja zloga in poravnava pole.

2.6 Sila razslojevanja

Sila razslojevanja je sila, ki je potrebna za razslojitev dveh med seboj zlepljenih substratov. V grafični industriji so testiranja razslojevanja najbolj uporabna pri samolepilnih etiketah, kjer je najbolj dejavno združenje FINAT (Fédération Internationale des fabricants et transformateurs d'Adhésifs et Thermocollants sur papiers et autres support). V združenju uporabljajo več standardnih metod za merjenje sile razslojevanja samolepilnih etiket in laminatov, kajti pri samolepilnih etiketah je razslojevanje ena izmed najpomembnejših lastnosti materiala. FINAT opredeljuje silo razslojevanja kot silo, ki je potrebna za odstranitev samolepilnega preizkušanca s standardne testne plošče pod standardiziranimi pogoji, pod standardiziranim kotom in s standardizirano hitrostjo (13).

Testni metodi FINAT za merjenje sile razslojevanja sta razslojevanje pod kotom 180° in razslojevanje pod kotom 90° (13). Metodi sta prikazani na sliki 5.

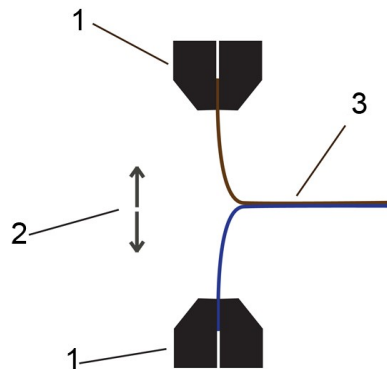


Slika 5: Metodi FINAT za razslojevanje (lit. vir 13)

1 - podloga, 2 - preizkušanec, 3 - smer razslojevanja.

V teh testnih metodah so natančno določeni materiali, mere preizkušancev, hitrost razslojevanja in ostali pogoji. Za razslojevanje laminiranih papirjev metodi FINAT nista najbolj uporabni, saj predvidevata, da je podlaga trdna plošča (priporočajo steklo). Pri laminaciji pa se najpogosteje laminira papir, ki je gibek oz. mehak prav tako kot folija. V primerih, kot je laminacija, kjer sta oba spojena materiala gibka oziroma fleksibilna, se uporablja tako imenovan T-razslojevalni test, prikazan na sliki 6. Preizkušanec pripravimo tako, da ima obliko črke T, kar pomeni, da preizkušanec

na koncu ni zlepjen oziroma je predhodno razslojen. Ta dva konca vpnemo v merilno napravo. Gibki preizkušanelec oziroma lepljenec je vsak material, ki se lahko zakrivi pod kotom 90° in se pri tem ne prelomi oziroma ne začne pokati.



Slika 6: Razslojevanje dveh gibkih preizkušancev, T-razslojevanje (lit. vir 14)

1 - čeljust za vpetje preizkušanca, 2 - smer vleke čeljusti, 3 - spojena preizkušanca.

Silo razslojevanja merimo s standardiziranimi napravami. Merilna naprava mora imeti dve čeljusti, kot prikazuje slika 6, kamor vpnemo dva konca preizkušancev, ki ju želimo razslojiti. Naprava mora nato s standardizirano hitrostjo oba materiala razslojiti in odčitati silo, ki se je pri tem sproščala. Standardi, ki so najbolj uporabni na tem področju, so ISO 11339, ASTM D 1876, BS EN-1895 (15).

3. EKSPERIMENTALNI DEL

3.1 Opis materialov

Za test smo uporabili dva posebej izbrana materiala, za katera smo ocenili, da bosta glede na svojo strukturo omogočila izvedbo meritev skladno s standardi. Pri izbiri smo bili pozorni na primerno gramaturo in obdelavo papirja ter primerno debelino folije, da se med samim izvajanjem testov preizkušanci ne bi trgali.

Za substrat smo izbrali naslednji papir:

- proizvajalec: Fedregoni,
- naziv: Symbol Freelifa Gloss 130g/m² dimenzije 90 x 64,
- koda materiala: F0900-0640/66004675.

Tehnični podatki papirja:

- gramatura v skladu z ISO536 je 130 g/m² ± 3 %,
- opaciteta v skladu z ISO2471 je 94 % ± 2 %,
- utržna jakost v skladu z ISO 1924: vzdolžno 5,1 kN/m ± 10 %, prečno 3,8 kN ± 10 %.

Za laminacijo smo izbrali folijo:

- proizvajalec: Cosmo film Limeted/Folien Service-Dtl GmbH,
- naziv: PCTG+TM325, 324,
- številka role: L02V0489Q007.

Tehnični podatki folije:

- material: BOPP, lepilo EVA, površina obdelana s korono,
- debelina: 27 µm,
- širina: 390 mm navitje 3000 m,
- obdelava zgornje strani: korona,
- omočljivost zgornje strani po standardu ASMT-D-2578 je 38 dyn/cm,
- utržna jakost v skladu s standardom ASTM-D-882: vzdolžno 680 kg/cm², prečno 1200 kg/cm².

3.2 Oprema

Stroj za toplo laminacijo proizvajalca:

- proizvajalec: Ecosystem Costruzioni S.r.l.,
- naziv: Aqua 102 Komet.

Ročni rezalnik:

- proizvajalec: Dahle,
- naziv: A 00565.

Naprava za merjenje sile razslojevanja:

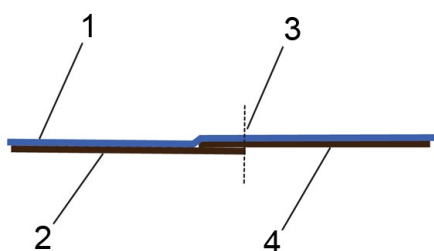
- proizvajalec: Instron,
- naziv: Instron 5567.

3.3 Postopek laminacije in priprava preizkušancev

Papir smo vstavili v laminirni stroj tako, da je bil tek vlaken papirja prečno na tek papirja skozi stroj. Laminacija je potekala pod istimi pogoji, hitrost stroja je bila 10 m/min, pritisk pritisnega valja je bil nastavljen na 4 tone. Spreminjali smo samo temperaturo grelnega valja.

Priporočljiva temperatura grelnega valja proizvajalca folije je bila med 90 °C in 110 °C. Preizkušance smo začeli laminirati pri temperaturi 75 °C, nato pa zviševali temperaturo po 5 °C do temperature 115 °C. Pri višjih temperaturah nismo laminirali, saj se je laminiran papir zaradi previsoke temperature začel preveč zvijati.

Pole papirja smo spustili skozi stroj tako, kot prikazuje slika 7 - pola za polo. Zadnjih 10 cm papirja je bilo prekritih z naslednjo polo, kar nam je omogočilo, da smo pridobili dva nezlepljena konca preizkušanca. Ko smo polo razrezali, sta nam ta dva konca služila kot prijemki za vpenjanje preizkušancev v Instron.



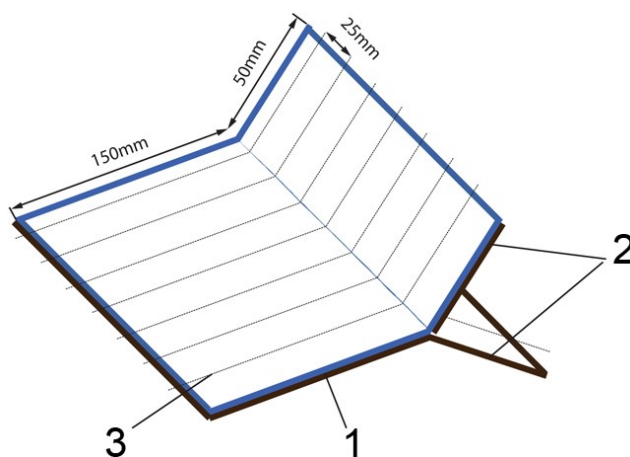
Slika 7: Laminirani poli papirja, kjer se zadnji in sprednji del pole prekrivata

1 - folija, 2 - prva pola, 3 - mesto, kjer se poli režeta, 4 - druga pola.

Z vsako temperaturo smo naredili trideset pol, iz katerih smo nato iz sredine izbrali pet pol, ki smo jih nadalje obdelali in pripravili za nadaljnje meritve.

Preizkušance laminiranega papirja smo pripravili v skladu s standardom ISO 11339:2010 »T-preizkus luščenja za lepljenje dveh gibkih lepljencev«, kot prikazuje slika 8. Iz laminirane pole smo izrezali preizkušance dolžine 200 mm, od tega je bilo 150 mm preizkušanca laminiranega – zlepljenega, 50 mm preizkušanca pa nezlepljenega. Širina preizkušanca je bila 25 mm.

Z vsako temperaturo smo naredili pet pol papirja, posamezno polo smo razrezali, da smo iz nje dobili štiri preizkušance, na katerih smo opravili meritve razslojevanja.



Slika 8: Priprava in razrez pole na posamezne preizkušance

1 - laminiran del pole, kjer sta zlepljena folija in papir, 2 - zavihka oziroma nezlepljen del pole, 3 - mesta, kjer se pola razreže, da dobimo posamezne preizkušance.

3.4 Opis metod

Meritve smo izvedli skladno s standardom ISO 11339:2010 s predhodno pripravljenimi in obdelanimi preizkušanci na napravi za merjenje sile razslojevanja Instron 5567. Izvajali smo meritve za devet različnih temperatur. Pri vsaki temperaturi smo imeli pet pol, iz katerih smo izrezali štiri preizkušance, kar pomeni, da smo skupaj naredili 180 meritev. Preizkušance smo razslojevali skladno s priporočili standarda s hitrostjo 10 mm/min. Inštrument je odčital silo razslojevanja za vsak milimeter raztega in podal rezultate v tabeli.

Dolžina zlepljenega dela preizkušanca je bila 150 mm. Standard določa, da zanemarimo prvih in zadnjih 25 mm ter upoštevamo samo srednjih 100 mm.

Ker je merilni inštrument odčitaval samo raztezek in ne dolžine, smo pri izračunih zanemarili prvih in zadnjih 50 mm raztezka. Upoštevali smo samo srednji raztezek v dolžini 200 mm, ki je ustrezal dejanskemu razslojevanju 100 mm dolžine preizkušancev, kot predpisuje standard. Odčitali smo povprečno, maksimalno in minimalno silo razslojevanja za vsak preizkušanec posebej.

V drugem koraku smo računali povprečje sil po širini 100 mm. Pomeni, da smo izračunali povprečje sil za štiri preizkušance iz iste pole, ki so se, preden smo jih razrezali, držali skupaj.

V zadnjem koraku smo izračunali skupno povprečje vseh preizkušancev za vsako temperaturo posebej.

4. REZULTATI MERITEV

V preglednicah 3 do 11 so podane vrednosti sile razslojevanja. Začeli smo z najnižjo temperaturo 75 °C, vendar so se pri tej temperaturi pojavili problemi, saj se folija ni pravilno razslojevala in se je v večini primerov tudi strgala. Zaradi tega rezultati v preglednici 3 niso optimalni in jih ne bomo upoštevali kot merodajne pri končni primerjavi sil razslojevanja med preizkušanci.

Preglednica 3: Meritve na preizkušancih, laminiranih s temperaturo 75 °C

Maksimalna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	6,57 ^a	7,24 ^a	9,52 ^a	13,44 ^a	9,19	8,12
Pola 2	6,61 ^a	6,41 ^a	6,48 ^a	6,86 ^a	6,59	
Pola 3	8,54 ^a	7,49 ^a	12,30 ^a	7,19 ^a	8,88	
Pola 4	6,81 ^a	7,47 ^a	6,67 ^a	6,65 ^a	6,90	
Pola 5	6,37 ^a	8,81 ^a	11,13 ^a	9,82 ^a	9,03	
Minimalna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	5,78 ^a	6,23 ^a	6,98 ^a	7,20 ^a	6,55	5,64
Pola 2	5,39 ^a	5,62 ^a	5,57 ^a	6,02 ^a	5,65	
Pola 3	0,06 ^a	6,01 ^a	7,22 ^a	6,25 ^a	4,89	
Pola 4	5,58 ^a	5,85 ^a	5,20 ^a	5,45 ^a	5,52	
Pola 5	5,73 ^a	1,99 ^a	7,13 ^a	7,60 ^a	5,61	
Povprečna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	6,27 ^a	6,59 ^a	8,77 ^a	10,05 ^a	7,92	6,97
Pola 2	6,02 ^a	6,03 ^a	6,09 ^a	6,43 ^a	6,14	
Pola 3	3,33 ^a	6,79 ^a	10,38 ^a	6,72 ^a	6,81	
Pola 4	6,17 ^a	6,69 ^a	5,92 ^a	6,03 ^a	6,20	
Pola 5	6,03 ^a	5,98 ^a	9,88 ^a	9,14 ^a	7,76	

^aPreizkušanec se je nepravilno razslojeval ali strgal, zaradi tega rezultat ni optimalen.

V preglednici 4 so prikazane meritve preizkušancev, laminiranih pri temperaturi 80 °C, kjer so se prav tako pojavile težave, saj se jih je večina pri razslojevanju na Instronu strgala. Zaradi tega tudi teh rezultatov ne bomo upoštevali kot merodajnih pri merjenju sil razslojevanja; zaradi pretrganja meritev nismo izvedli do konca ali pa je Instron odčitaval silo tudi tam, kjer se je preizkušanec trgal. Bolj natančen pregled preizkušancev, laminiranih s temperaturama 75 °C in 80 °C, je pokazal, da se je lepilo ločilo od folije, kar je povzročilo neenakomerno razslojevanje in trganje.

Preglednica 4: Meritve na preizkušancih, laminiranih s temperaturo 80 °C

Maksimalna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	10,18 ^a	11,04 ^a	11,22 ^a	9,60 ^a	10,51	11,14
Pola 2	8,79 ^a	8,63 ^a	13,49 ^a	11,91 ^a	10,71	
Pola 3	11,07 ^a	9,61 ^a	14,42 ^a	13,80 ^a	12,22	
Pola 4	14,19 ^a	10,89 ^a	13,00 ^a	9,96 ^a	12,01	
Pola 5	9,04 ^a	9,22 ^a	12,95 ^a	9,79 ^a	10,25	
Minimalna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	7,90 ^a	5,35 ^a	8,36 ^a	8,53 ^a	7,53	5,11
Pola 2	7,38 ^a	2,54 ^a	3,08 ^a	8,22 ^a	5,30	
Pola 3	0,29 ^a	6,05 ^a	5,26 ^a	5,39 ^a	4,24	
Pola 4	7,80 ^a	0,07 ^a	0,14 ^a	0,36 ^a	2,09	
Pola 5	7,26 ^a	7,63 ^a	2,89 ^a	7,83 ^a	6,40	
Povprečna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	9,10 ^a	8,36 ^a	10,18 ^a	9,16 ^a	9,20	8,30
Pola 2	8,09 ^a	5,86 ^a	8,81 ^a	10,12 ^a	8,22	
Pola 3	6,44 ^a	7,97 ^a	9,20 ^a	9,24 ^a	8,21	
Pola 4	10,43 ^a	4,69 ^a	7,33 ^a	7,25 ^a	7,42	
Pola 5	8,26 ^a	8,49 ^a	8,08 ^a	9,01 ^a	8,46	

^a Preizkušanec se je nepravilno razslojeval, zaradi tega rezultat ni optimalen.

V preglednici 5 so prikazane meritve na preizkušancih, laminiranih pri temperaturi 85 °C. Vsi preizkušanci so se pravilno razslojevali, ni prišlo do pretrganja ali kakršne koli druge napake.

Preglednica 5: Meritve na preizkušancih, laminiranih s temperaturo 85 °C

Maksimalna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	9,33	9,06	9,34	9,21	9,23	9,22
Pola 2	9,50	9,18	8,87	9,13	9,17	
Pola 3	8,81	8,91	9,01	9,12	8,96	
Pola 4	9,87	9,63	9,05	9,33	9,47	
Pola 5	9,05	9,40	9,31	9,33	9,27	
Minimalna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	7,78	7,88	8,15	8,10	7,98	8,06
Pola 2	8,08	7,91	7,91	8,28	8,05	
Pola 3	7,96	7,90	8,06	8,16	8,02	
Pola 4	8,39	8,38	7,71	8,19	8,17	
Pola 5	7,73	8,18	8,22	8,21	8,09	
Povprečna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	8,65	8,59	8,83	8,71	8,69	8,69
Pola 2	8,88	8,66	8,42	8,73	8,67	
Pola 3	8,44	8,46	8,57	8,68	8,54	
Pola 4	9,16	9,04	8,37	8,84	8,85	
Pola 5	8,44	8,83	8,79	8,78	8,71	

V preglednici 6 so prikazane meritve na preizkušancih, laminiranih pri temperaturi 90 °C. Vsi preizkušanci so se pravilno razslojevali brez zapletov. Na drugi poli je bila izmerjena najmanjša minimalna sila razslojevanja.

Preglednica 6: Meritve na preizkušancih, laminiranih s temperaturo 90 °C

Maksimalna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	9,47	9,28	9,31	10,05	9,53	9,12
Pola 2	8,33	9,21	8,10	9,31	8,73	
Pola 3	9,43	9,56	8,77	9,22	9,24	
Pola 4	9,28	9,32	8,45	9,13	9,04	
Pola 5	8,85	9,14	8,94	9,26	9,05	
Minimalna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	8,49	8,21	8,31	8,97	8,49	8,18
Pola 2	7,43	8,04	7,18	8,34	7,75	
Pola 3	8,18	8,45	7,78	8,42	8,21	
Pola 4	8,45	8,48	7,69	8,35	8,24	
Pola 5	8,05	8,45	7,96	8,44	8,22	
Povprečna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	9,03	8,84	8,84	9,59	9,08	8,72
Pola 2	8,02	8,70	7,73	8,90	8,34	
Pola 3	8,87	9,06	8,35	8,84	8,78	
Pola 4	8,92	8,92	8,12	8,78	8,69	
Pola 5	8,55	8,85	8,60	8,96	8,74	

V preglednici 7 so prikazane meritve na preizkušancih, laminiranih pri temperaturi 95 °C. Tudi tu so se vsi preizkušanci pravilno razslojevali.

Preglednica 7: Meritve na preizkušancih, laminiranih s temperaturo 95 °C

Maksimalna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	9,61	9,46	9,01	9,31	9,35	9,39
Pola 2	9,80	9,67	9,48	9,34	9,57	
Pola 3	9,43	9,54	9,39	9,32	9,42	
Pola 4	8,95	9,51	8,90	8,76	9,03	
Pola 5	9,75	9,80	9,55	9,11	9,56	
Minimalna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	8,56	8,38	8,09	8,27	8,32	8,40
Pola 2	8,87	8,52	8,40	8,22	8,50	
Pola 3	8,49	8,62	8,40	8,46	8,49	
Pola 4	7,75	8,37	7,88	7,83	7,96	
Pola 5	8,95	9,02	8,66	8,18	8,70	
Povprečna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	9,21	9,05	8,61	8,92	8,94	8,99
Pola 2	9,42	9,17	9,00	8,88	9,12	
Pola 3	9,05	9,11	9,01	8,98	9,04	
Pola 4	8,50	9,06	8,51	8,38	8,61	
Pola 5	9,49	9,48	9,19	8,75	9,23	

V preglednici 8 so prikazane meritve na preizkušancih, laminiranih pri temperaturi 100 °C. Vsi preizkušanci so se pravilno razslojevali, opazen ni bil noben pretrg ali kakršna koli druga napaka. Na peti poli je bila izračunana največja maksimalna sila razslojevanja.

Preglednica 8: Meritve na preizkušancih, laminiranih s temperaturo 100 °C

Maksimalna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	9,52	9,23	9,70	9,60	9,51	9,82
Pola 2	9,94	9,83	10,03	9,93	9,93	
Pola 3	10,07	9,66	9,42	9,81	9,74	
Pola 4	10,02	10,07	9,92	9,28	9,82	
Pola 5	10,41	10,00	10,03	9,88	10,08	
Minimalna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	8,69	8,29	8,90	8,53	8,60	8,66
Pola 2	8,51	8,64	8,94	8,99	8,77	
Pola 3	8,63	8,38	8,40	8,86	8,57	
Pola 4	9,07	9,02	8,73	8,10	8,73	
Pola 5	8,65	8,33	8,88	8,66	8,63	
Povprečna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	9,22	8,88	9,38	9,16	9,16	9,32
Pola 2	9,27	9,29	9,57	9,52	9,41	
Pola 3	9,34	9,14	9,00	9,39	9,22	
Pola 4	9,66	9,61	9,44	8,79	9,37	
Pola 5	9,60	9,28	9,56	9,30	9,43	

V preglednici 9 so prikazane meritve na preizkušancih, laminiranih pri temperaturi 105 °C. Vsi preizkušanci so se razslojevali brez napak. Na peti poli je bila izmerjena največja povprečna sila razslojevanja.

Preglednica 9: Meritve na preizkušancih, laminiranih s temperaturo 105 °C

Maksimalna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	9,67	10,09	9,22	9,56	9,64	9,73
Pola 2	9,57	9,35	9,48	9,66	9,51	
Pola 3	9,73	9,84	9,77	9,96	9,82	
Pola 4	9,03	9,76	9,92	10,02	9,68	
Pola 5	9,94	9,81	9,92	10,22	9,97	
Minimalna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	8,89	9,22	8,44	8,77	8,83	8,76
Pola 2	8,73	8,26	8,53	8,69	8,55	
Pola 3	8,83	8,73	8,83	8,94	8,84	
Pola 4	7,88	8,71	8,82	9,12	8,63	
Pola 5	8,75	8,78	8,85	9,34	8,93	
Povprečna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	9,36	9,73	8,92	9,24	9,31	9,33
Pola 2	9,22	8,89	9,12	9,31	9,13	
Pola 3	9,40	9,38	9,36	9,53	9,42	
Pola 4	8,55	9,30	9,45	9,66	9,24	
Pola 5	9,47	9,42	9,51	9,84	9,56	

V preglednici 10 so prikazane meritve na preizkušancih, laminiranih pri temperaturi 110 °C. Razslojevanje je potekalo brez težav. Na peti poli je bila izmerjena največja minimalna sila razslojevanja.

Preglednica 10: Meritve na preizkušancih, laminiranih s temperaturo 110 °C

Maksimalna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	10,23	9,37	8,11	8,83	9,13	9,46
Pola 2	9,68	9,72	9,74	9,61	9,69	
Pola 3	9,64	9,60	8,62	9,13	9,25	
Pola 4	9,60	9,31	9,57	9,69	9,54	
Pola 5	9,63	9,57	9,36	10,20	9,69	
Minimalna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	8,80	8,01	7,26	7,76	7,96	8,55
Pola 2	8,42	8,57	9,02	8,85	8,71	
Pola 3	8,95	8,95	7,91	8,30	8,53	
Pola 4	8,66	8,47	8,56	8,75	8,61	
Pola 5	9,03	8,88	8,50	9,41	8,96	
Povprečna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	9,59	8,76	7,86	8,42	8,66	9,09
Pola 2	9,13	9,22	9,42	9,29	9,26	
Pola 3	9,39	9,34	8,34	8,78	8,96	
Pola 4	9,20	8,97	9,16	9,33	9,16	
Pola 5	9,40	9,28	9,01	9,85	9,39	

V preglednici 11 so prikazane meritve na preizkušancih, laminiranih pri temperaturi 115 °C. Vsi preizkušanci so se razslojevali brez posebnosti. Opaziti je bilo le, da so bili razrezani preizkušanci rahlo zviti. Očitno je zaradi prevelike temperature po rezanju prišlo do krčenja folije.

Preglednica 11: Meritve na preizkušancih, laminiranih s temperaturo 115 °C

Maksimalna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	9,57	9,59	9,73	9,80	9,67	9,61
Pola 2	9,40	8,95	9,74	9,80	9,47	
Pola 3	9,78	9,52	9,68	9,19	9,54	
Pola 4	10,01	9,80	9,50	10,01	9,83	
Pola 5	9,40	9,55	9,70	9,55	9,55	
Minimalna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	8,60	8,64	8,78	9,01	8,76	8,67
Pola 2	8,37	8,06	8,86	8,96	8,56	
Pola 3	8,73	8,39	8,84	8,16	8,53	
Pola 4	9,10	8,83	8,53	9,02	8,87	
Pola 5	8,42	8,48	8,79	8,77	8,61	
Povprečna sila razslojevanja (N)						
	Preizkušanec 1	Preizkušanec 2	Preizkušanec 3	Preizkušanec 4	Povprečje	Skupno povprečje
Pola 1	9,20	9,23	9,33	9,47	9,31	9,24
Pola 2	8,94	8,59	9,39	9,45	9,09	
Pola 3	9,35	9,08	9,36	8,78	9,14	
Pola 4	9,69	9,41	9,14	9,56	9,45	
Pola 5	9,02	9,15	9,37	9,25	9,20	

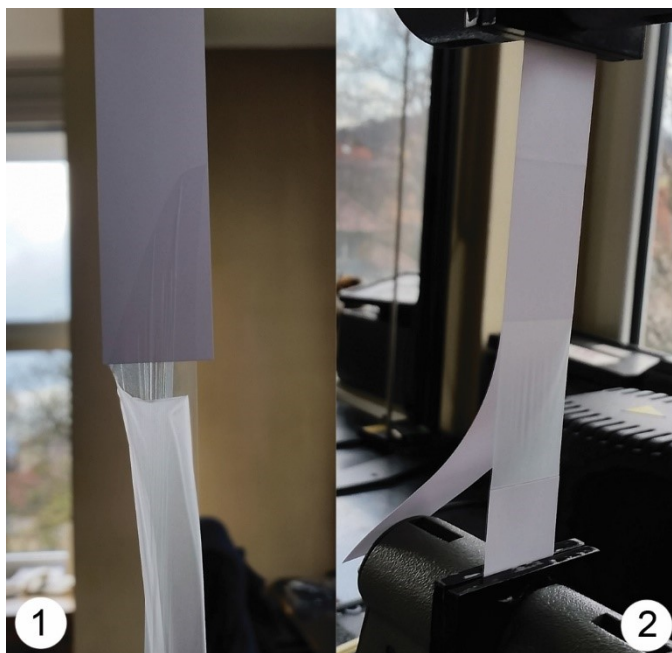
5. RAZPRAVA O REZULTATIH Z ZAKLJUČKI

5.1 Vizualna ocena preizkušancev

Pri vseh nadaljnjih rezultatih smo se odločili, da meritev folij, laminiranih pri temperaturah 75 °C in 80 °C, ne upoštevamo kot verodostojnih, saj rezultati meritev oziroma odčitki naprave Instron niso optimalni, ker se folija ni pravilno razslojevala.

Ugotovljeno je bilo, da je pri razslojevanju lepilo EVA odstopilo od folije, zaradi tega je prišlo v večini primerov do pretrganja ali trganja preizkušancev.

Na sliki 9 na posnetku 1 nazorno vidimo, kako se je lepilo ločilo od folije in neenakomerno razslojevalo, kar je na koncu privedlo do pretrganja, medtem ko se je preizkušanec na isti sliki na posnetku 2 lepo enakomerno razslojeval brez odstopanja lepila EVA od folije.



Slika 9: Posnetek razslojevanja na Instronu

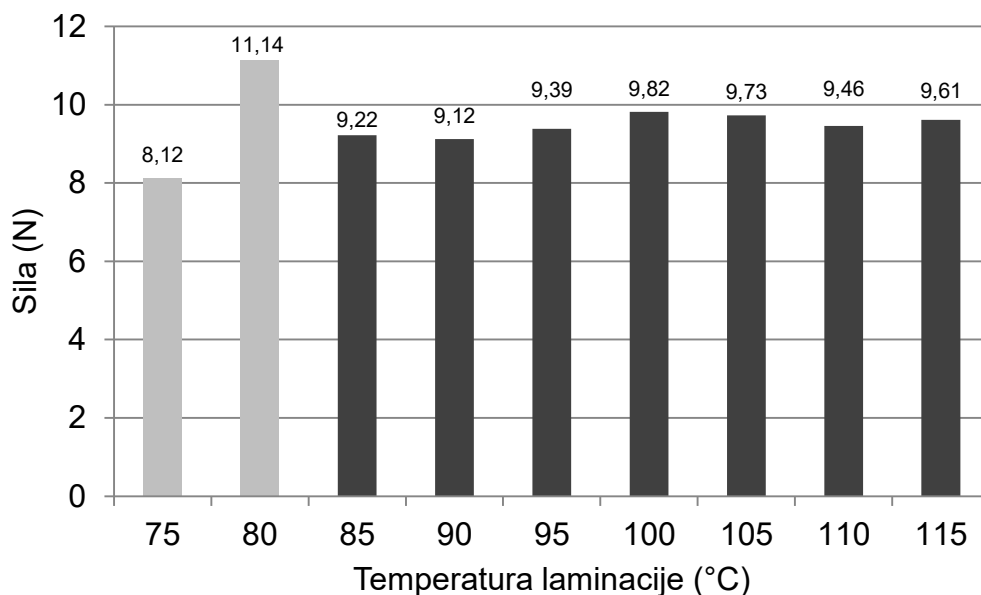
1 - posnetek laminacije preizkušanca, laminiranega s temperaturo 75 °C, 2 - posnetek preizkušanca, laminiranega s temperaturo 105 °C.

Iz tega lahko sklepamo, da sta pri teh pogojih laminacije temperaturi 75 °C in 80 °C prenizki za kakovostno laminacijo. Pri teh temperaturah se lepilo očitno ne sprime zadosti z obema lepljencema, kar daje slab rezultat.

Če bi tako laminiran proizvod dali na trg, bi se lahko pojavili problemi z delaminacijo. Na pregibih in mestih, kjer je folija izsekana ali žlebljena, bi hitro prišlo do delaminacije. Vendar to ne pomeni, da je ta temperatura neprimerna za laminacijo; pomeni samo, da ni primerna za te pogoje laminacije. Če bi zmanjšali hitrost laminacije z naših 10 m/min na 5, bi bil rezultat verjetno boljši, saj se z manjšo hitrostjo prenese več temperature na lepljenca, ker sta dlje v stiku s toploto.

5.2 Maksimalna sila razslojevanja

Pri vseh nadaljnjih rezultatih smo se odločili, da meritev folij, laminiranih pri temperaturah 75 °C in 80 °C, ne upoštevamo kot ustreznih, saj meritve ne kažejo pravih rezultatov. Po opravljenih meritvah in izračunanih maksimalne sile razslojevanja smo prišli do ugotovitev, ki so prikazane na sliki 10. Največja maksimalna sila razslojevanja je bila v povprečju izmerjena na preizkušancih, ki so bili laminirani pri temperaturi 100 °C, druga največja pa pri 105 °C.



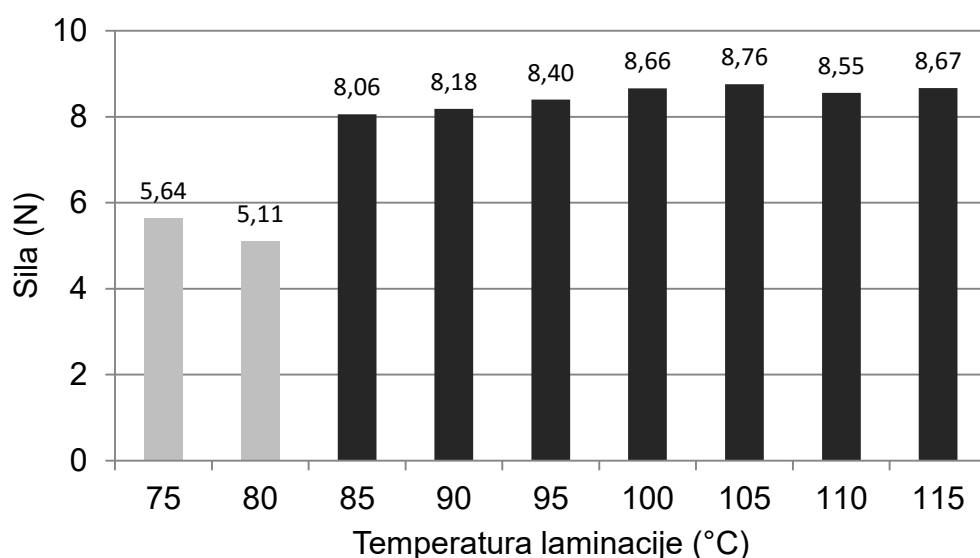
Slika 10: Izračunana povprečna maksimalna sila razslojevanja za vse preizkušance

Najmanjšo maksimalno silo smo izmerili pri preizkušancih, ki so se laminirali pri temperaturah 85 °C in 90 °C, kot se vidi na sliki 10. Sklepamo, da je spoj papirja in folije pri nižjih temperaturah slabši kot pri višjih, vendar se jakost spoja pri previsoki temperaturi ponovno oslabi. Zanimivo bi bilo videti, kaj se dogaja tudi temperaturah, višjih od 115 °C. Pri začetnem načrtovanju našega eksperimenta se za višje

temperature nismo odločili, saj se je pri teh temperaturah laminiran preizkušanec začel preveč kriviti; folija se je zaradi previsoke temperature začela krčiti in s tem kriviti papir, to pa pri končnem izdelku tiskovine ni sprejemljivo.

5.3 Minimalna sila razslojevanja

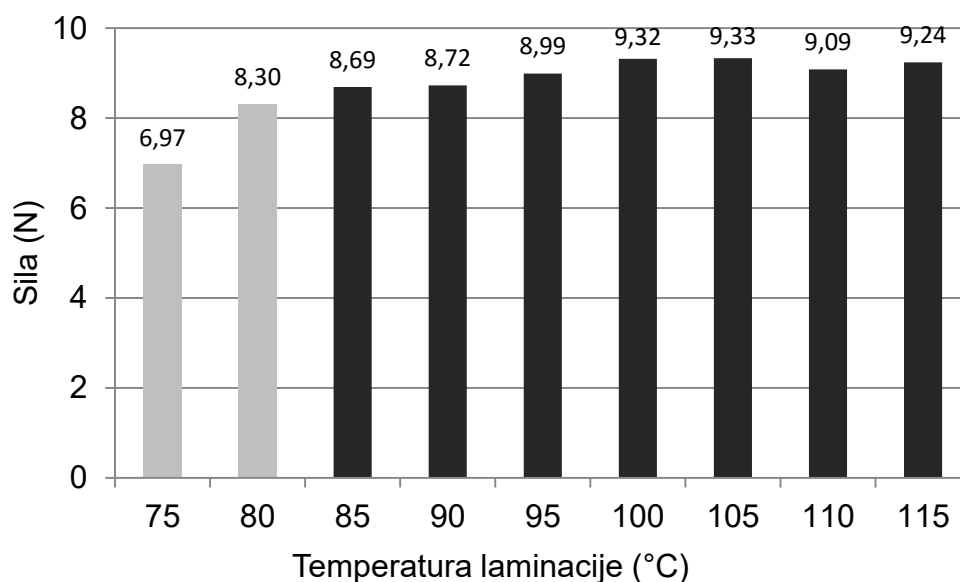
Največja minimalna sila razslojevanja je bila izmerjena pri temperaturi 105 °C, druga največja pri 115 °C, tretja pa pri 100 °C (le stotinka N razlike), kot je razvidno s slike 11. Najmanjša minimalna sila razslojevanja je bila izmerjena pri temperaturah 85 °C in 90 °C. Če primerjamo sliki 10 in 11, vidimo, da sta si krivulji vrhov stolpičev zelo podobni. Po meritvah in izračunih minimalne sile razslojevanja sklepamo, da je trdnost spoja najmočnejša pri temperaturah 100 °C in 105 °C, šibkejša pa je pri nižjih temperaturah.



Slika 11: Izračunana povprečna minimalna sila razslojevanja za vse preizkušance

5.4 Povprečna sila razslojevanja

Meritve in izračuni povprečne sile razslojevanja nam dajejo podobno sliko kot predhodni dve meritvi. Slika 12 prikazuje, da so se v povprečju najbolje obnesli preizkušanci, laminirani pri temperaturah 105 °C in 100 °C, slabše pa preizkušanci, laminirani pri nižjih temperaturah. Ko primerjamo rezultate preizkušancev, laminiranih pri temperaturah 95 °C in 110 °C, torej preizkušancev, ki mejita na najboljše, vidimo, da je preizkušanec, laminiran z višjo temperaturo, veliko boljši. Lahko predpostavljamo, da je višja temperatura boljša za trdnost laminacije, vendar je vprašanje, kje je tista točka, kjer se krivulja obrne navzdol in kakšni so drugi vplivi na folijo, ki jih tukaj nismo merili. Očitno je, da se pri višji temperaturi spremenijo dimenzionalne lastnosti folije.



Slika 12: Izračunana povprečna sila razslojevanja za vse preizkušance

6. ZAKLJUČEK

V diplomskem delu smo prišli do ugotovitve, da ima temperatura vpliv na trdnost spoja laminacije. Ugotovili smo, katera temperatura v danih pogojih laminacije vodi do najmočnejšega spoja. Zaključki so sledeči:

- Če je temperatura grelnega valja pri laminaciji prenizka, v našem primeru 75 °C in 80 °C, se termolepljivo lepilo EVA ne zlepi dovolj z obema lepljencema. V našem primeru je lepilo odstopilo od folije. Izdelek, ki bi bil laminiran pri teh pogojih, ne bi bil primeren za nadaljnjo uporabo.
- Pri nižjih temperaturah grelnega valja, 85 °C in 90 °C, je lepilo EVA dovolj dobro sprijeto z obema lepljencema, kar pomeni, da je reakcija uspela, vendar spoj ni tako trden kot pri višjih temperaturah.
- Najmočnejši spoj dveh lepljencev je bil dosežen pri temperaturah 105 °C in 100 °C.
- Pri višjih temperaturah, 110 °C in 115 °C, trdnost laminacije začne slabeti, pojavijo se težave s krčenjem folije, kar ima za posledico vihanje papirja.

7. LITERATURA

1. PETERSON, J. 2002. New innovations with film laminating. *The Foil & Specialty Effects Association* [dostopno na daljavo]. [citirano 12. 04. 2016]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://archive.fsea.com/article.asp?ID=31#.Vy4uVvmLTIU>>.
2. CURCIO, T. 2011. UV coating vs lamination. *Graphic arts* [dostopno na daljavo]. [citirano 12. 04. 2016]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://graphicartsmag.com/articles/2011/05/uv-coating-vs-lamination/>>.
3. *Three influence factors of coating thermal lamination film*. 2016 [dostopno na daljavo]. Kunshan huge package material science & technology co. [citirano 11. 04. 2016]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.kshuge.com/en/jobs3.asp>>.
4. Lamination - Taking on a new face. 1999. *The Foil & Specialty Effects Association* [dostopno na daljavo]. [citirano 18. 03. 2016]. Dostopno na svetovnem spletu: <http://archive.fsea.com/article.asp?ID=1#.Vw_7JDCLTIU>.
5. NOVAK, G. 2004. *Grafični materiali*. Ljubljana : Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, str.170, 173,174, 239, 240.
6. MAIER, C. in CALAFUT, T. 1998. *Polypropylene : the definitive user's guide and databook*. Norwich : William Andrew Publishing, str. 57-58.
7. THOMPSON, B. 1998. *Printing materials : science and technology*. London : Pira International, str. 302.
8. Vetaphone Corona treatment. 2016. *Vetaphone Corona & Plasma* [dostopno na daljavo]. [citirano 10. 04. 2016]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.vetaphone.com/technology/corona-treatment/>>.
9. PRENTICE, P. 2001. Corona discharge. *Plastic consultancy network* [dostopno na daljavo]. [citirano 20. 10. 2011]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.pcn.org/Technical%20Notes%20-%20Corona.html>>.

10. *Dyna technology : Corona treatment*. 2016 [dostopno na daljavo]. [citirano 11. 04. 2016]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.dynetechnology.co.uk/applications/corona/>>.
11. Aqua water based thermal film laminator. 2012. *Ecosystem costruzioni* [dostopno na daljavo]. [citirano 11. 04. 2016]. Dostopno na svetovnem spletu: <http://www.ecosystemcostruzioni.net/en/products/lamination/water-based/item/download/8_b0b3b308bf66ef155d5e36a335eb80b6>.
12. *Komfi FAQ*. 2016 [dostopno na daljavo]. [citirano 02. 04. 2016]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.komfieurope.com/faq>>.
13. *FINAT technical handbook : International test standards and methods: peel strength*. 2001 [dostopno na daljavo]. 6th ed. Barry : Dow Corning [citirano 11. 04. 2016]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.mecmesin.com/peel-strength-test-standards>>.
14. *What is the strength of epoxy?* 2016 [dostopno na daljavo]. [citirano 11. 04. 2016]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.epoxysetinc.com/what-is-the-strength-of-epoxy/>>.
15. *International test standards and methods : peel strength*. 2016 [dostopno na daljavo]. [citirano 11. 04. 2016]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.mecmesin.com/peel-strength-test-standards>>.