

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

KATEDRA POLYGRAFIE A FOTOFYZIKY

Vypalování flexotiskových forem laserem

Nikola Vaculíková

Bakalářská práce

2018

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích, 12. 7. 2018

Nikola Vaculíková

ANOTACE

Cílem této bakalářské práce bylo posouzení kvality vypálení elastomerních flexotiskových návleků od dvou předních výrobců, Ligum spol. s.r.o, Jablonec nad Nisou a Bötcher ČR, k.s, Vyškov. Na základě studia odborných článků a literatury byl zpracován přehled metod pro zpracování flexotiskových forem.

Experimentální část se zabývá porovnáním kvality vypálení YAG vláknovým laserem a CO₂ laserem, a porovnání reakce dodaných elastomerních návleků na jednotlivé lasery.

Klíčová slova:

- sleeve – návlek, rukáv, nekonečná tisková forma
- Elastomer
- Laser
- Flexotisková forma

ANOTATION

The main objective of this bachelor thesis is to compare the quality of the laser ablation of an elastomeric flexographic printing sleeves produced by the two leading producers — The Ligum spol. s.r.o., Jablonec nad Nisou and The Bötcher ČR, k.s., Vyškov. On the bases of my research of the specialised technical literature, I laboured the overview of the processing techniques of the flexographic printing sleeves.

The experimental part compares the ablation quality between the YAG laminar laserers and the CO₂ lasers and it also compares the reaction of the elastomeric printing sleeves with the particular lasers.

Keywords:

- Sleeve
- Elastomer
- Laser
- Flexographic printing form

Ráda bych touto cestou poděkovala za odborné vedení, konzultace a cenné rady vedoucímu práce, panu Ing. Jiřímu Hejdukovi, Ph.D., jeho neomezenou trpělivost a podporu při tvorbě bakalářské práce. Dále poděkování patří společnostem Ligum spol, s.r.o., Jablonec nad Nisou a Boettcher ČR, k.s, Vyškov za dodané flexotiskové návleky a konečně firmě Gravitech s.r.o za vygravírování sleeveů. Velké díky zvláště patří panu Ing. Jiřímu Měřínskému, který zajistil bezproblémové vypálení vzorků a byl mi po celou dobu i na dálku nápomocen.

Poděkování patří i mým dvěma synům, partneru Josefovi a nejbližším přátelům, kteří mě po celou dobu studia podporovali a byli mi na blízku.

OBSAH

1. ÚVOD DO FLEXOTISKU	6
1.1. CO JE FLEXOTISK.....	6
1.2. FLEXOTISKOVÉ FORMY	6
1.2.1. Fotopolymerní flexotiskové formy	6
1.2.2. Pryžové flexotiskové formy.....	7
1.2.3. Vulkanizační proces.....	7
1.2.4. EPDM, Etylen-propylen-dienový kaučuk	8
1.2.5. Kontrola kvality návleku	8
2. VLIV PROCESU VÝVOJE NA KVALITU TISKOVÉ FORMY [1, 4, 17, 18, 19].	12
3. PŘÍPRAVA FOREM LASEREM	13
3.1. VYSVĚTLENÍ ZÁKLADŮ VYPALOVÁNÍ LASEREM.....	14
3.2. TVAR PROFILU TISKOVÉHO BODU	14
4. LASERY	16
4.1. LASERY POUŽÍVANÉ K PŘÍMÉMU GRAVÍROVÁNÍ ELASTOMERNÍCH FOREM.....	17
4.1.1. CO ₂ lasery	17
4.1.2. Nd-YAG lasery	18
4.1.3. Fiber lasery	19
4.2. POROVNÁNÍ LASERŮ PRO PŘÍMÉ VYPALOVÁNÍ ELASTOMERNÍCH FOREM	20
5. ZAŘÍZENÍ PRO PŘÍMÉ VYPALOVÁNÍ ELASTOMERNÍCH FOREM	20
6. PRAKTICKÁ ČÁST.....	27
6.1. POUŽITÝ MATERIÁL:	27
6.2. POUŽITÉ STROJE A PŘÍSTROJE:	27
7. PŘÍPRAVA VZORKŮ A POSTUP PRÁCE.....	28
7.1. MĚŘENÍ ROVNOMĚRNOSTI POVRCHŮ SLEEVŮ	28
7.2. GRAVÍROVÁNÍ.....	29
7.3. PŘÍPRAVA VZORKŮ	29
7.4. VZORKY NA OPTICKÉ MĚŘENÍ.....	33
7.5. NÁTISK NA NÁTISKOVÉM STROJI	34
8. ZÁVĚREČNÉ HODNOCENÍ ANALÝZY	37
9. SEZNAM OBRÁZKŮ	38
10. SEZNAM TABULEK	39
11. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	40
12. POUŽITÁ LITERATURA	41

1. Úvod do flexotisku

1.1. Co je flexotisk

Flexotisk je jednou z nejmnohostrannějších technologií. Jeho výjimečnost spočívá v různorodosti potiskovaných materiálů, jasností a stálostí barev i variabilitou a přizpůsobivostí tiskových strojů. Tato technologie tisku z výšky, která se od svého počátku držela v ústraní a byla nedoceněná, se konečně dočkala zaslouženého místa v polygrafickém průmyslu. S jasnou linií své využitelnosti a představou o budoucnosti kvalitního tisku. A to nejen proto, že šla vstříc ekologickým požadavkům společnosti o ochraně životního prostředí, ale zejména v produkci tiskových forem, které jsou elastické.

Schopnost flexotisku potisknout široké spektrum různorodých materiálů tuto technologii staví do přední pozice v polygrafickém průmyslu v produkčním tisku. Využití má v potisku kartonáží, flexibilních obalů a samolepících etiket. Nesmíme však opomenout i její využití v tisku novin. Avšak největší využití nachází v obalovém průmyslu. S touto variabilitou potiskovaných materiálů je nutné zvolit i správný typ barvy. Ta je vzhledem k povaze technologie rychleschnoucí a nízkoviskózní.

1.2. Flexotiskové formy

Pružné flexotiskové formy lze klasifikovat podle materiálu, ze kterého jsou vyrobeny, jejich tvaru, způsobu přenosu obrazu nebo procesu vzniku reliéfu. Z hlediska použitého materiálu se flexotiskové formy dělí na *pryžové* a *fotopolymerní*. Dle tvaru tiskové formy ji můžeme rozdělit na rovinné štočky, návleky nebo kompaktní válce. Přenesení obrazu na tiskovou formu lze provést analogově přes filmovou kopírovací předlohu nebo přímo na základě digitálních podkladů metodou CtP (Computer to Plate). Odstraněním materiálu na netisknoucích místech, ať už mechanicky, vymytím vhodným rozpouštědlem, vytavením nebo vypálením laserem, vzniká tak reliéf flexotiskové formy. Materiál flexotiskové formy musí být odolný vůči barvě použité při tisku, resp. příslušných rozpouštědel, nesmí dojít k naleptání, nabobtnání nebo zkrěhnutí formy. [1]

Tato práce je zaměřena na pryžové flexotiskové formy, tzv. sleevy.

1.2.1. Fotopolymerní flexotiskové formy

Jedná se o pružné nosiče obrazu. Fotopolymer může být k dispozici ve stavu tuhém nebo kapalném. Hlavními složkami fotopolymerů jsou reaktivní oligomery, monomery a iniciátory. Směs obsahuje ještě tepelné stabilizátory a přísady ke zvýšení odolnosti vůči ozónu a barviva.

Příprava flexotiskové formy z fotopolymerních desek má dvě hlavní stadia: přenos obrazu a vyvolání obrazu. Přenos obrazu lze provést klasickou cestou UV osvětlením (zářením) nebo digitálně CtP (Computer to Plate) technologií, kde se negativní fotografický film nahrazuje na povrchu černou vrstvou, tzv. integrovanou maskou. Masku lze nanést inkjetovým tiskem nebo lze využít technologii označovanou jako LAMS (Laser Ablation Mask System), která je i více používaná. Na tuto ablační vrstvu se Nd:YAG laserem přenesou obraz, dopadající záření je v černé vrstvě absorbováno a tato energie je přeměněna na teplo, které způsobí v příslušných místech odpaření vrstvy. Termální fotopolymerní tiskové formy se řadí mezi nejmodernější typy. Tento systém

poskytuje vynikající kvalitu tisku díky unikátní kombinaci osvětlení přenosového filmu Kodak Squarespot technologie. Výsledky vývoje materiálů pro výrobu desek snižují provozní náklady a zvyšují efektivitu výroby. [1, 2]

Dalším způsobem zpracování fotopolymerní tiskové formy je použití tekutého fotopolymery. Postupuje se tak, že se mezi dvě desky z křemičitého skla nalije tekutý fotopolymer. Provede se zadní osvit (vytvoření soklu) a následně se přes filmovou montáž provede přední osvit (vytvoření reliéfních tiskových elementů). Nevytvrzený kapalný fotopolymer se vymytím odstraní a provede se dodatečný osvit. [3]

1.2.2. Pryžové flexotiskové formy

Flexotiskové pryžové formy, návleky v České Republice zpracovávají dvě společnosti, a to Ligum spol. s r.o., Jablonec nad Nisou a Boettcher ČR, k.s., Vyškov. Tyto návleky lze rozdělit do dvou základních skupin, a to na slabostěnné 3–5 mm a silnostěnné 5–15 mm.

Výroba flexotiskových návleků (sleevů) probíhá následným způsobem. Na předem připravené jádro, které je vyrobeno z rozměrově stálého a odolného materiálu (kov, tvrdé plasty, lamináty, aj.) se navine vrstva kaučukové směsi. Tloušťka výsledné vrstvy je ovlivněna počtem jednotlivých vrstev vulkanizační směsi. Použitím vrstev kaučukových směsí s různými hodnotami tvrdosti nebo kombinací různých druhů kaučuků lze dosáhnout různých mechanických a povrchových vlastností konečného produktu. Následně se tento návin překryje ochranou vrstvou tenkého savého papíru a průhlednou lepicí páskou. Takto připravený návlek se vloží do vulkanizačního reaktoru, kde za zvýšené teploty (až 150 °C) a tlaku (4–5,5 atm) kaučuková směs přechází ze stavu plastického do stavu převážně elastického (pryž). Mění se tak vlastnosti chemické, tepelné, fyzikální a elektrické. Tlakem se zabraňuje vytváření nežádoucích pórů na produktu. Po zvulkanizování je třeba nechat sleevey dozrát, minimálně 2–3 dny a to z důvodu uvolňování plynů (pnutí uvnitř materiálu). Kdyby se povrch pryže ihned opracoval, nastaly by problémy s rozměry. Povrch pryže se opracuje nejdříve na soustruhu, následuje zaříznutí na požadovanou délku a začištění hran. Poté se obrousí hrubovacím kotoučem, dále se povrch brousí na požadovaný průměr. V posledním kroku pak se povrch návleku vyhladí jemným smirkovým papírem (polírování) a omyje lihem.

1.2.3. Vulkanizační proces

Samotný vulkanizační proces zahrnuje tři po sobě jdoucí kroky, Prvním krokem je zahřívání a tlakování (30–60 minut) a jakmile je dosaženo příslušných hodnot, začne samotná vulkanizace, která trvá od 180 do 300 minut. Posledním, třetím krokem je chladnutí, které má časovou linku mezi 60–120 minutami. Vulkanizace je velmi časově a energeticky náročný proces. [3, 4]

Vulkanizační směs obsahuje základní složku – kaučuk, ať už přírodní nebo syntetický. Přehled kaučuků pro zhotovení flexotiskové pryžové formy naleznete v tabulce 1. Vulkanizační přísady se přidávají v malé koncentraci. Hlavní složkou vulkanizačního systému je vulkanizační činidlo, nejčastěji síra. Urychlovače zajišťují rychlost vulkanizace a umožňují upravovat její průběh tak, že snižuje závislost rychlosti na teplotě vulkanizace. Nedílnou součástí vulkanizačního systému jsou plniva, ta upravují vlastnosti pryže, jako jsou pevnost, tvrdost, odolnost vůči oděru a v neposlední řadě i modul pružnosti a povrchovou energii. Nejběžnějším

plnivem pryží jsou saze. Černý elastomer je chemicky stabilnější než barevný, má větší elasticitu, oděruodolnost a vypalovatelnost. Změkčovadla, nejčastěji kapalné oleje (parafinové, naftenické a aromatické oleje) naopak pomáhají zlepšovat zpracovatelnost, snižují tvrdost a teplotu skelného přechodu. K ochraně elastomeru proti škodlivým vlivům okolního prostředí slouží antidegradanty (antioxidanty a antiozonanty). Tzv. zvláštní přísady se do směsi přidávají pouze v případě, že jsou od elastomeru požadovány určité speciální vlastnosti (např.: pro zlepšení hladkosti pryže, pro spojování pryže s kovy a vlákny, rychlejší vypalování laserem). Zahrnují se mezi ně, např.: pigmenty, zhášedla, spojovací prostředky apod. [4, 5, 6]

Tabulka 1: Přehled kaučuků používaných pro výrobu flexotiskových pryžových forem

Zkratka	Název kaučuku
NR	Přírodní kaučuk
SBR	Butadien-styrenový kaučuk
EPDM	Etylen-propylen-dienový kaučuk
NBR	Butadien-akrylonitrilový kaučuk
MVQ	Silikový kaučuk
EPDM+NBR	Směs etylen-propylen-dienového a butadien-akrylonitrilového kaučuku
MVQ+EPDM	Směs etylen-propylen-dienového a silikonového kaučuku

1.2.4. EPDM, Etylen-propylen-dienový kaučuk

EPDM (Etylen-propylen-dienový kaučuk) patří mezi nejrozšířenější a nejpoužívanější syntetický kaučuk. Jeho výroba spočívá v roztokové kopolymeraci etylenu s propylenem s nekonjugovaným dienem za přítomnosti katalyzátorů. Hlavní řetězec je zcela nasycený a dvojně vazby jsou pouze na bočním řetězci. Proto je EPDM velmi odolný vůči degradaci. Vyznačuje se vysokou mechanickou pevností, vynikající stálostí vůči nízkým i vysokým teplotám (−50 až 130 °C), působení ozónu i povětrnostním vlivům, má i dobrou chemickou odolnost (vůči běžným zředěným kyselinám a zásadám). Naopak není odolný vůči alifatickým a aromatickým uhlovodíkům (benzin, benzen, toluen). Nesmí přijít do styku s parafinickými, naftenickými a aromatickými oleji, v jejich přítomnosti velmi dobře bobtnají. Tyto oleje jsou pro tento typ kaučuku velmi dobrými změkčovadly, jež se přidávají do vulkanizační směsi. EPDM se vyrábí v rozsahu tvrdosti 20–95 °ShA. [4,5]

K experimentálním účelům byl dodán právě tento typ kaučuku v podobě hotového návleku, připraveného k vypálení. Dodavateli jsou: Ligum spol, s.r.o., Jablonec nad Nisou a Boettcher ČR, k.s, Vyškov.

1.2.5. Kontrola kvality návleku

Kontrola kvality hotového návleku se provádí jak vizuálně, tak různými měřeními a také kontrolním nátiskem. Kvalita povrchu, respektive docílená jemnost po broušení a polírování, je nezbytnou podmínkou. Měřením Ra-metrem (přístroj pro měření drsnosti povrchu) je měřena drsnost povrchu a je doložena protokolem. Této problematice je věnována zvlášť kapitola 1.2.5.1. Dalším důležitým parametrem je tvrdost formy, které je věnována následující kapitola 1.2.5.2. Mezi další kontrolu kvality lze zařadit i házivost a kuželovitost válcové

formy, která probíhá pomocí bezkontaktního laserového měřicího zařízení napojeného na počítač a tiskárnu. I toto měření je doložené protokolem s informacemi o průměru, házivosti a kuželovitosti. [7]

1.2.5.1. Drsnost

Termíny a definice dle normy ČSN EN ISO 4287

Drsnost je soubor nerovností povrchu s relativně malou vzdáleností, které vznikají při výrobě, nepočítají se do ní vady povrchu (náhodné nepravidelnosti jako důlky, trhlinky apod.)

K hodnocení struktury povrchu se používají normalizované parametry, které jsou stanoveny pro dvourozměrné metody měření. Tyto parametry jsou dle výše zmíněné normy rozděleny do tří skupin:

- 1) P-parametry: vypočítají se ze základního profilu
- 2) R-parametry: jsou parametry drsnosti, které se vypočítají z profilu drsnosti
- 3) W-parametry: jsou parametry vlnitosti, které se vypočítají z profilu vlnitosti [8]

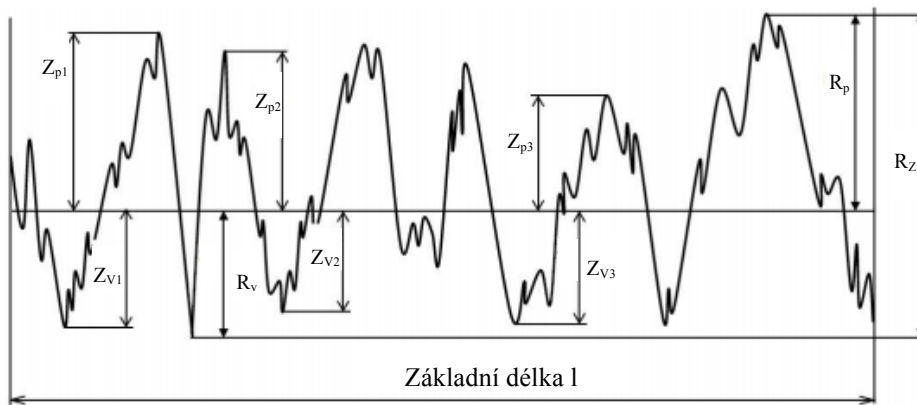
Pro hodnocení drsnosti rovinných povrchů se nejčastěji používají z množiny parametrů R, parametry R_z a R_a . Pro rozhodnutí, zda je povrch obrobku ve shodě se specifikací, či ne, je použit soubor jednotlivých hodnot parametru struktury povrchu, z nichž každý je určen na vyhodnocované délce. Vyhodnocovaná délka je rozdělena do n počtů základních délek, ze kterých byly hodnoty získány. Nejčastěji se volí 5 základních délek. K proměřeným válcům je vystaven protokol, když je to nutné lze provést kontrolní nátisk. [4,8]

Parametr R_z – je dán vztahem součtu nejvyššího výstupku Z_p a nejnižší prohlubně profilu Z_v v rozsahu základní délky l_r , obr. č. 1 (rovnice 1).

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |Z_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |Z_{vi}|}{5} \quad (1)$$

Z_p – vzdálenost mezi střední čarou a nejvyšším výstupkem profilu [μm]

Z_v – vzdálenost mezi střední čarou a nejnižším výstupkem profilu [μm] [9]



Obrázek 1: Zobrazení výšky profilu drsnosti R_z [9]

Parametr R_a – je aritmetický průměr absolutních hodnot všech podřadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky l_r .

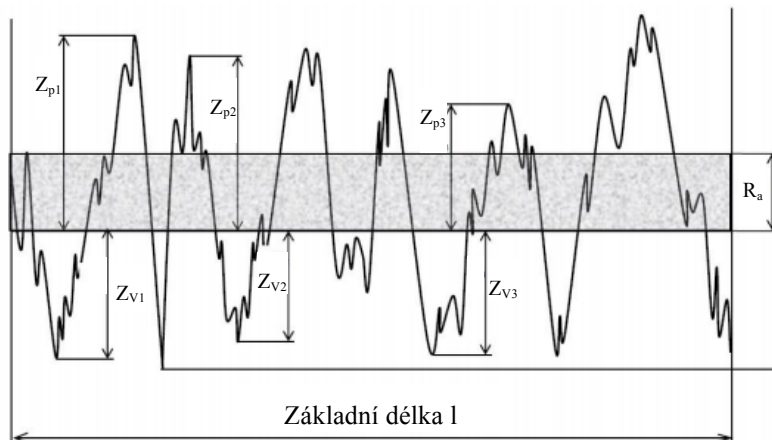
Úchylka se vypočítá podle rovnice 2.

$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad (2)$$

Zt – součet výšky výstupku a hloubky prohlubně [μm] [8]

Jedná se o nejpoužívanější metodu hodnocení drsnosti povrchu na našem území. Měření tímto parametrem je snadné a naměřené hodnoty i při opakovaném měření vykazují značnou přesnost. Tento výškový parametr je pouze statistický údaj, který udává střední hodnotu vzdáleností od střední čáry daného profilu, obr. č. 2. Při měření se oproti normě neberou v úvahu náhodné nerovnosti.

Optimální hodnoty se pohybují mezi R_a 0,2–0,4 μm , hodnota by neměla přesáhnout $R_a=0,8 \mu\text{m}$. [3, 10]



Obrázek 2: Znázornění výškového parametru R_a [9]

1.2.5.2. Tvrdost

Způsoby, kterými lze definovat tvrdost jsou různé. V odborné literatuře však nejčastěji bývá definována jako odpor, který materiál klade proti vnikání cizího tělesa.

Metody zkoušky tvrdosti lze rozdělit do tří skupin:

1. Vrypové
2. Vnikací
3. Odrazové

Stanovení tvrdosti pryží, vulkanizovaných nebo termoplastických elastomerů upravuje norma ČSN ISO 48. Jedná se o metodu IRHD (International Rubber Hardness Degree), vnikací zkoušku, která spočívá v měření rozdílu mezi hloubkou vtláčení kuličky do pryže při malé kontaktní síle a velké (vtlačovací) síle. Jsou stanoveny čtyři metody pro měření pryží s plochými povrchy, tzv. standardní metoda a čtyři metody pro zakřivené povrchy, tzv. měření zdánlivé tvrdosti. Uvádí se v mezinárodních stupních tvrdosti pryže IRDH a rozsah tvrdosti je od 10 IRHD po 100 IRHD. [11]

Standardní metoda popisuje čtyři metody měření tvrdosti plochých povrchů N (normální 35–85 IRHD, ale připouští se rozsah tvrdosti 30–95 IRHD), H (vysoká tvrdost 85–100 IRHD), L (nízká tvrdost 10–35 IRHD) a M (mikrozkouška 35–85 IRHD, jedná se o zmenšenou verzi normální zkoušky, pro malé a tenké vzorky) na zkušebních tělesech standardní tloušťky a specifikovanými nejmenší velikostí. Jednotlivé metody jsou uvedeny v přesných rozsazích IRDM. [11]

Měření zdánlivé tvrdosti jsou CN, CH, CL, CM. V podstatě jde o modifikace standardních metod. Přesto měření zdánlivé tvrdosti má svá specifika nejen, že se provádí na hotovém výrobku, který může být i zakřivený. [11]

Tvrdost flexotiskových forem je výrazně ovlivněna plnivý, která jsou přidávána do vulkanizační směsi. Obecně platí, že čím vyšší koncentrace plniv, tím vyšší tvrdost pryže. Koncentrace plniva potřebná ke zvýšení tvrdosti pryží o určitý stupeň závisí na měrném povrchu plniva. Čím vyšší je měrný povrch plniva, tím menší je koncentrace plniva potřebná ke zvýšení tvrdosti. Dále na zvýšení tvrdosti pryže má značný podíl, i zda se jedná o krystalizující či nekrystalizující kaučuk. Nekrystalizující kaučuky vykazují vyšší pevnost. Tvrdé a slabostěnné tiskové formy jsou vhodné pro jemnější lineaturu z důvodu nižší deformace bodu a tedy tím i menší posuny v nárůstu tónových hodnot a tedy i menším odchylkám v barevnosti. Měkké tiskové formy jsou vhodné naopak pro lineaturu hrubší. V polygrafii se označuje tvrdost pryže od 0 do 100 ShA podle Shoreho stupnice tvrdosti, která je rozšířenější a zažitá. Princip metody dle Shoreho spočívá v měření hloubky specifikované kuličky vtláčené do vzorku materiálu. Hloubka vtláčeného hrotu je nepřímo úměrná hodnotě tvrdosti. [2,5,11,12,14]

1.2.5.3. Skladování flexotiskových gumových návlků

Degradace pryžových flexotiskových forem je dalším důležitým faktorem, kterému je třeba věnovat pozornost. Degradace pryže neboli stárnutí, je nevratná změna v chemických a fyzikálních vlastnostech. Tato změna je způsobena chemickými či fyzikálními činidly, mezi tato činidla můžeme zařadit působení atmosférického kyslíku, ozonu, světelného a ionizačního záření, mikroorganismy. Působením těchto činidel bezprostředně na pryž má za následek zprerhání vazeb a tím poškození makromolekul. Proto je velmi důležité

skladování pryžových flexotiskových forem za stálých teplotních, vlhkostních a světelných podmínek. Tedy v krytých, suchých a temperovaných prostorech od +15 do 25 °C, nevystavovat povětrnostním podmínkám, přímému slunečnímu a UV záření. Pokud jsou v místnosti okna je doporučeno je zatemnit. Výrobky je nutné skladovat z dosahu ropných a chemických látek. [14,15]

Návleky jsou zabaleny v mirelonu a jsou uskladněny ve stoje, to z toho důvodu, aby nedošlo ke zdeformování, otláčení válce a po gravuře k otláčení tiskových bodů. Proto je skladování gumových návleků náročné na prostor, přesto je velmi důležitá rychlá reakce na potřeby klienta, což klade velké nároky na logistiku mezi zúčastněnými firmami, protože se objednávka musí realizovat během několika málo dnů. [7,16]

Celkově je uskladnění normalizováno, a to normou ČSN 63 0001, mezinárodní normou ISO 2230 Pryžové výrobky – Pokyny pro skladování. Informativní doba skladování je přímo závislá na druhu základního kaučuku použitého k výrobě dané pryže, viz tabulka 2. Pokud je u pryže použita kombinace kaučuků, platí informativní doba skladování dle kaučuku s nejnižší dobou skladování doporučené výrobcí. [14,15]

Tabulka 2: Informativní doba skladování pro výrobky z pryže, doporučeno výrobcí

Zkratka	Název kaučuku	Roky
NR	Přírodní kaučuk	5
SBR	Butadienstyrenový kaučuk	5
EPDM	Etylenpropylendienový kaučuk	10
NBR	Butadienakrylonitrilový kaučuk	7
MVQ	Silikový kaučuk	10
EPDM+NBR	Směs etylen-propylen-dienového a butadien-akrylonitrilového kaučuku	7
MVQ+EPDM	Směs etylen-propylen-dienového a silikonového kaučuku	10

2. Vliv procesu vývoje na kvalitu tiskové formy [1, 4, 17, 18, 19]

Za sto let vývoje flexotisku došlo k výraznému progresu v této tiskové technice, dá se říct, že se jedná o nejrychleji se rozvíjející tiskovou techniku. První flexotiskový stroj byl využíván koncem 19. století firmou Sperling z Lipska na potisk balících papírů a obalů. Kvalita tohoto tisku a soutisku nebyla nijak závratná, neboť tisková forma se sestávala z knihtiskového válce potaženého gumovým ručně vyřezávaným potahem (odtud název gumotisk. Jednalo se tak o jednoduché grafické motivy, které nevyžadovaly příliš náročné zpracování. Rychlým vývojem tiskových strojů, kdy se začal papír odvíjet z kotouče a byl potiskován anilinovými barvami a dále transportován k dalšímu zpracování, byl plně využíván ke zpracování kornoutů a sáčků. Následně se tato tisková technika rozšířila do oblastí potisku pytlů. V Anglii byl patentován první anilinový lis firmou Bibby Sarin&Son. Velký rozmach flexotisk zaznamenal po 2. světové válce, kdy byly konstruovány výkonné rotační stroje se dvěma až čtyřmi tiskovými jednotkami. I přes kvalitativní nedostatky, kdy nebylo možné reprodukovat jemnější rastry a objevovaly se tzv. zdvojené okraje, jež vznikaly tiskovým tlakem při současném tisku ploch pérovek a vysokým tlakem docházelo ke zdeformování motivu, se stávala tato technika tisku z výšky stále oblíbenější. Rok 1951 datuje, kdy byl poprvé užit název flexografický tisk na místo anilinového tisku. Průlom nastal v 70. letech 20. století, kdy se flexotisk začal prosazovat v obalovém průmyslu při potisku materiálů, které

byly pro ostatní tiskové techniky nepoužitelné, zejména ubrouskových papírů, celofánu, fólií z plastu a parafinových papírů. Konkrétně v roce 1973, kdy byla objevena fotopolymerní tisková forma (o této problematice je podrobněji zmíněno v kapitole 1.2.1.) sehrávala významnou roli. Zlepšení kvality tisku a rozšíření reprodukčních možností vedlo výrobce ke konstrukci čtyř až šestibarvových flexotiskových strojů, vývoji nových tiskových barev. Původní zdraví závadné anilínové barvy byly postupně nahrazovány rozpouštědlovými, vodou ředitelnými a UV barvami.

Technologie vypalování laserem je používána od 80. let 20. století. Nejdříve začala být tato technologie hojně používanou pro fotopolymerní materiály. Později se začala uplatňovat hlavně pro elastomerní flexotiskové formy a to z několika důvodů. Elastomerní tisková forma je méně nákladná jak výrobně, tak i časově a s dnešními technologickými možnostmi se kvalitativně vyrovná fotopolymerní tiskové formě. Její hlavní plus spočívá ve výrobě návleků (sleevů), kde je možný tzv. nekonečný tisk.

Na přelomu tisíciletí a nástupem digitální techniky CtP (Computer to Plate) se flexotisku otevřely dveře do polygrafického průmyslu a nekonečné možnosti potisku různorodých materiálů, od savých po nesavé, hladkých po strukturované a to nejen díky výše zmiňované technologii CtP a přímého gravírování do elastomerních kulatých forem, ale i díky vývoji barev a technologických možnostech flexotiskových strojů. Tato práce se dále bude věnovat technologii pro přímé vypalování laserem do elastomerních flexotiskových forem.

Výsledkem vývoje jsou nové typy flexotiskových sleeveů, především tenkostěnných sleeveů a sleeveů s kompresibilním podkladem, který zlepšuje jejich dynamiku. Tyto sleevey jsou výrazně levnější při plném zachování předností fotopolymerních forem jako je přenos barvy, stabilita vůči působení tiskových barev a chemikálií, životnosti aj. Oproti fotopolymerním deskám mají řadu výhod. Příprava tisku je mnohem rychlejší a úspornější, a to z několika důvodů: sleevey je možné montovat přímo na kovová jádra válců, tím dochází k úspoře za adaptéry a kompresibilní pásy, seřízení soutisku je kvalitnější a tisk z přímo gravírovaných forem má vyšší kvalitu. Mmj. přímé gravírování je ekologičtější postupem než u fotopolymerních desek.

3. Příprava forem laserem

Laserové vypalování dat do flexotiskové formy přináší několik podstatných výhod. Výrazně zlepšuje a zrychluje přípravu tiskové formy oproti konvenční přípravě fotopolymerních forem, kde je nutný dvojitý osvit, mytí a sušení a také montáž štočku na návlek. To u přímého gravírování odpadá. Je třeba zdůraznit i vyšší životnost ve srovnání s konvenční tiskovou formou, ta je vyšší až o třetinu. Vysoká kvalita tisku a odolnost vůči rozpouštědlům, barevná stálost, perfektní tisk ostrých hran a nízký nárůst tiskového bodu, to jsou bezesporé výhody. Formy vyrobené pomocí laserového gravírování umožňují přesné nastavení soutisku. Polohová přesnost gravury je až 1 μm po obvodu. Bezešvá forma přináší možnost nekonečného tisku a tím i úsporu potiskovného materiálu. Tiskové formy vypálené laserem se hodí především pro vysokonákladové a problematické zakázky, kde se objevuje velmi jemné písmo, rastr nebo jsou použity agresivní barvy, jako jsou např.: EAC, UV, u potisku hrubých materiálů s vysokou abrazivitou. [2, 20, 21, 22, 23]

3.1. Vysvětlení základů vypalování laserem

Kreativní návrh je výchozím souborem pro další zpracování přípravy gravírování. Datový soubor přechází do pre-presového studia, se kterým firma většinou úzce spolupracuje. Ve studiu probíhá ripování dat na jednobitový TIFF formát. Jestliže se jedná o bežešvou formu, je nutné dodržet pravidlo, aby na sebe body v teoretickém švu bezchybně navazovaly. Tato data slouží pro gravírovací stroj jako vstupní soubor. Obsluha gravírovacího stroje může data ještě dále zpracovávat, např. je upravit tak, aby obraz byl spojitý. Následuje úprava tvaru bodu a jeho reliéfu, přestože jsou body již z pre-presového studia nakalibrované.

Obsluha gravírovacího stroje musí respektovat tiskové materiály, pro které je sleeve určen. Další parametr, který musí obsluha respektovat je materiál sleeveu. Na těchto parametrech je závislý tvar reliéfu bodu a hloubka gravírování. Hloubka gravírování se pohybuje od 0,6 do 1,2 mm podle typu návleku. Je obvyklé, že si gravírovací firma v systému řízení vytváří šablony pro nejčastěji používané materiály a charakteristiku bodu, čímž se urychluje kalibrace laseru. Před začátkem samotného gravírování je možné zkontrolovat obraz na obrazovce přiřazené ke gravírovacímu stroji. Po odeslání dat do stroje začne samotné gravírování, při kterém již nelze provádět úpravy.

Zakládání sleeveů do gravírovacího stroje probíhá automaticky nebo poloautomaticky. Sleeve založený do gravírovacího stroje je o několik málo centimetrů delší z důvodu testovacího gravírování a musí být předem stabilizován. Obsluha má tak možnost pod mikroskopem vyhodnotit tvar a profil bodu.

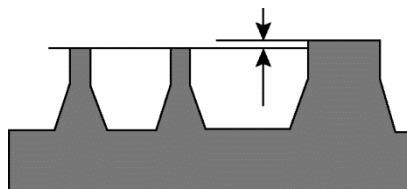
Principem gravírování laserem je odstranění nežádoucích (netisknoucích) ploch obrazu laserovým paprskem, tak je tvořen pozitivní či negativní obraz dle předlohy. Při samotném gravírování rotuje válec nebo upevněný štoček na trnu a laser nebo skupina laserů odstraňuje nežádoucí materiál. Ten je pak odsáván. Jedná se o bezpečný popílek nebo prášek, který je pomocí extrakčního systému v průběhu gravírování odsáván a je spalován nebo poslán na skládku. Na závěr se sleeve vymyje teplou vodou pro odstranění zbytkového prachu. Použitá voda se po filtraci může přímo vypustit do kanalizace. Následuje krátké sušení. Jedná se tak o bezodpadovou vysoce produkční ekologickou technologii. [20,21,22]

3.2. Tvar profilu tiskového bodu

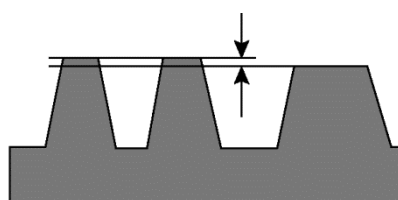
Na základě použitého materiálu na výrobu flexotiskové formy a jejího zpracování je i rozdílný reliéf tiskového bodu. Konvenční příprava fotopolymerní formy zahrnuje zdlouhavý proces dvojího osvětlení UV lampou, vymývání organickými rozpouštědly a sušení. Tato metoda je velmi náročná jak na přípravu, tak i k životnímu prostředí a s tím spojených nákladů na likvidaci odpadních látek. Reliéf tiskového bodu u této metody je podobný reliéfu bodu s použitím integrované masky, profil komolého kužele je však statnější a s méně strmými boky. Při tisku je znatelná vyšší tónová hodnota, není ani možná tak jemná lineatura a jemné stínované přechody. U fotopolymerních materiálů s využitím integrované masky jsou tiskové body oproti konvenčnímu způsobu menší a se strmějšími boky. Výsledkem je kvalitnější reprodukce motivu a menší nárůst tiskového bodu při tisku. Hlavní výhodou této metody je šetrnost k životnímu prostředí díky odstranění vymývání organickými rozpouštědly a konečného sušení, což značně urychluje výrobu formy (vymývání vodou platí pouze u termálního způsobu). Nutno podotknout, že při této přípravě tiskové formy nebobtnají. Nevýhoda takto zpracovaných tiskových forem spočívá v jemnosti tiskových prvků, které se mohou snadněji poškodit, či opotřebit, je zde

i omezení na použité tiskové barvy a velmi jemné motivy, které vyžadují vyšší lineaturu. Taktéž se mohou objevit problémy s lepivostí povrchu štočku. Porovnání reliéfů jednotlivých metod ilustruje obrázek 3.

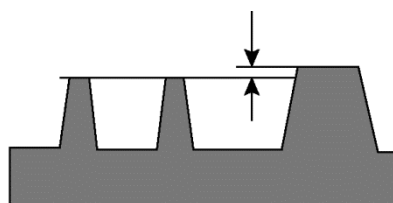
Vypálení laserem do elastomeru



Fotopolymer a film (vymytí reliéfu rozpouštědlem)

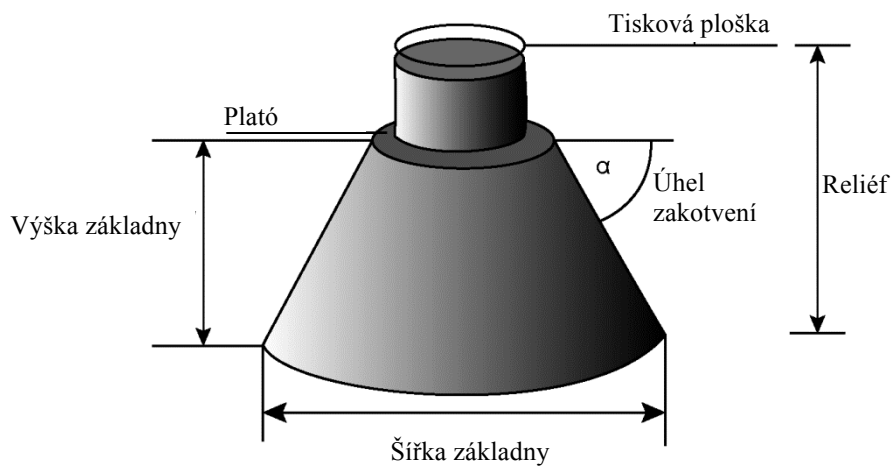


Fotopolymer a integrovaná maska (vytavení nepolymerovaného materiálu)



Obrázek 3: Znázornění tvaru reliéfu různými metodami [1]

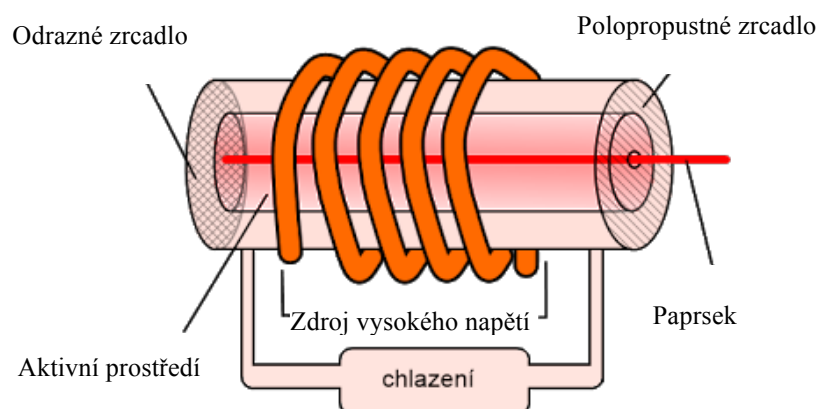
Hlavním znakem, kterým se technologie vypalování laserem odlišuje od dosud zmíněných, je možnost nastavení profilu tiskového bodu. Což je k povaze používaných materiálů flexotiskových forem velmi důležitý prvek. Tvar tisknoucí plošky může být různý, vychází z ripování. Nejčastější tvar se používá kruhový. Avšak tvar plochy není tak zásadní jako již zmiňovaný reliéf tiskového bodu. Struktura reliéfu tiskového bodu vypáleného laserem má větší stabilitu a tak nedochází k nárůstu tónové hodnoty vlivem opotřebení tiskové formy. Ten se nastavuje v těchto parametrech: šířka základny, úhel zakotvení, výška základny a výška profilu bodu (obr. 4). Všechny tyto parametry musí být perfektně nastaveny tak, aby i při minimální velikosti byla jasně definovaná tisková ploška bodu. Ta nesmí být nikterak poškozena, či zakulacena, forma by tak trčila na kvalitě přenosu tiskové barvy a tím by byla nepoužitelná. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, pryžové návleky se rozdělují na slabostěnné 3–5 mm a silnostěnné 5–15 mm. Podle typu návleku se liší i hloubka gravury. Tento parametr je závislý jednak na typu gravírovaného média, ale i na rychlosti gravírování. Trendem dosažení co nejvyšší pracovní efektivity a produktivity je gravírovat v co nejnižší hloubce, ale hloubce dostatečné pro tisk. Naopak u příliš hlubokého reliéfu existuje riziko vypadávání jemných částí tiskového obrazu. Přímá laserová gravura se vyznačuje vysokou kvalitou ostroty hran, což jiná metoda nedokáže, ekologičností, barevnou stálostí, odolností tiskového média vůči barvám a otěru a až 3× vyšší životností než ostatní používané materiály pro výrobu flexotiskových forem. [1, 21, 22, 23]



Obrázek 4: Popis reliéfu tiskového bodu vypáleného laserem [21]

4. Lasery

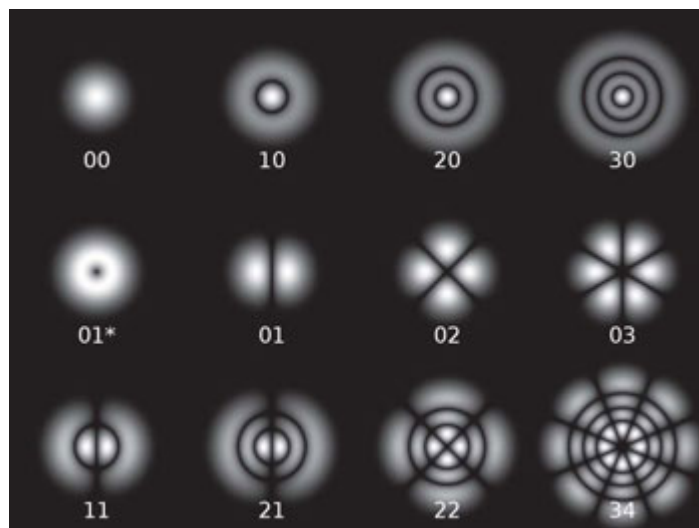
Vlastní název laser vznikl jako zkratka sestavená z počátečních písmen anglického názvu „zesílení světla s využitím stimulované emise záření“ (anglicky Light Amplification by means of Stimulated Emission of Radiation). Jedná se o zdroj elektromagnetického záření, který je časově i prostorově koherentní. Charakteristickým rysem stimulovaného záření je úzká spektrální čára, vysoká směrovost a hustota záření. Výkon laseru se pohybuje od 500 do 1200 W. Laser se skládá z aktivního prostředí, jímž může být pevná látka (krytal, sklo, polovodič), plyn nebo směs plynů, kapalina; optického rezonátoru tvořeného zpravidla dvěma nebo více zrcadly, z nichž alespoň jedno je polopropustné a slouží k vývodu energie, a zdroje budící energie, jímž může být například výbojka, elektrický výboj v aktivním prostředí, proud elektronů nebo chemická reakce. Obrázek č. 5 ilustruje schéma laseru. Součástí laseru je chlazení, které je buď vzduchem nebo vodou. [24]



Obrázek 5: Schéma laseru [25]

Pro vypalování flexotiskové formy je důležité, aby co největší množství energie bylo soustředěno do co nejmenší možné plochy, proto laser pracuje na nejnižších módech. Mód určuje kvalitu paprsku jako je

Multimode (MM), což jsou dvě soustředěné kružnice nebo TEM_{00} (Transverse Electromagnetic Mode), což je velmi malý bod. Další variantou je cokoli mezi již uvedenými variantami. Různé varianty TEM módu vytváří více obrazců (obr. č. 6), kdy lze doladěním zrcadel v rezonátoru upravit jednotlivé módy tak, aby se vytvořilo n bodů v horizontálním směru a m bodů ve vertikálním směru a q bodů v osové směru. Index v čísle TEM udává hodnotu nmq , tedy TEM s indexem TEM_{00} je žádný další bod v žádné ose. Nejvyšší kvalita a nejsilnější paprsek s nejmenší stopou je v módu TEM_{00} . [4, 26]



Obrázek 6: Ukázka konfigurace laserových mód [27]

Laserový paprsek je možné v zařízení vést třemi rozličnými způsoby. Přímým vypalováním, kdy je laser integrovaný přímo do zapisovací hlavy, tato metoda má nižší výkon a je používána u laserových diod. Další z řešení je vedení paprsku přes soustavu zrcadel a čoček, kde jsou dvě možné varianty: umístění generátoru mimo zařízení nebo integraci laserového generátoru přímo v zařízení. Tento způsob je typický pro CO_2 a Nd-YAG lasery. Vzhledem k vedení paprsku přes optické soustavy je laser více náchylnější k nepřesnostem a k otřesům. Proto je vhodné vést paprsek co možná nejpřímější a nejkratší cestou k vypalovanému materiálu. To umožňuje vedení paprsku optickými kabely a lze jej proto umístit přímo do vypalovacího zařízení. [4]

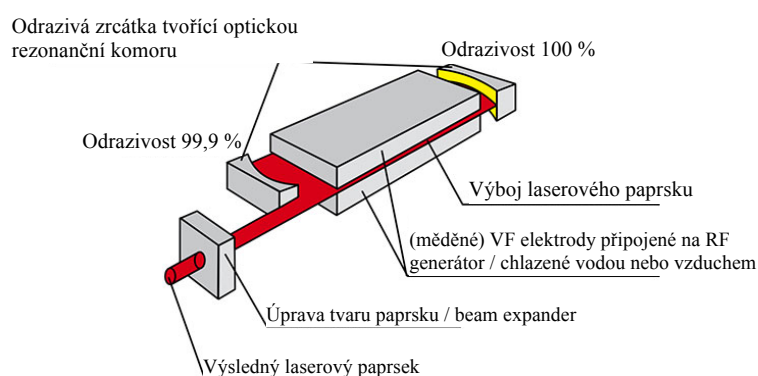
4.1. Lasery používané k přímému gravírování elastomerních forem

Lasery vhodné pro vypalování elastomerních forem se používají pevnolátkové, plynové a fiber lasery.

4.1.1. CO_2 lasery

Jedná se o plynový laser (obr. č. 7), který může pracovat v kontinuálním i pulsním režimu a patří mezi nejpoužívanější a nejvýkonnější lasery (až 20 kW). Bohaté spektrum vyzařovacích frekvencí molekuly CO_2 v oblasti vlnových délek 4–18 μm , nejintenzivnější čáry jsou soustředěny v okolí vlnových délek 9,5 μm a 10,6 μm , na nichž CO_2 nejčastěji pracuje. Emise CO_2 molekuly byla poprvé pozorována v roce 1964 fyzikem indického původu C.K.N. Patelem. Výkon jeho laseru byl pouze 1 mW. Později bylo ve zdokonalené směsi dosaženo výkonu 10 W ($N_2 : CO_2$) a 100 W ($N_2 : He : CO_2$). V současné době se používá směs, která kromě

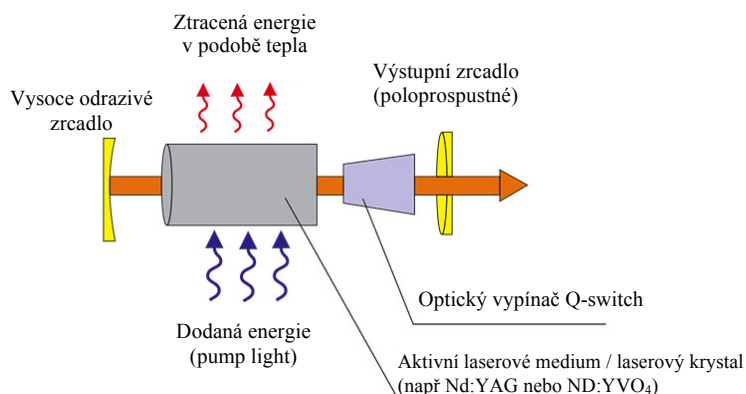
uvedených složek obsahuje vodík, vodní páru a páry složitých organických sloučenin. V plynu dochází k výboji a tím je elektronům dodávána energie, kdy dochází k energetickým přechodům a dochází k vyzařování energie ve formě fotonu. Následně se fotony směřují v rezonanční dutině tak, aby se energie koncentrovala a stala se koherentní. Koherentní paprsek má minimální rozbíhavost, to znamená, že na velmi velkou vzdálenost má stále skoro stejný průměr (průměr se téměř nezvětšuje). Tato koherence má velmi silnou energii, kterou lze pomocí optiky vhodně koncentrovat do malého bodu. Teplo, které vzniká mezi elektrodami, se musí odvádět. Do výkonu 55 W je chlazení většinou vzduchem, ale výkony nad 100 W už mají chlazení vodou. Vyšší teplota by poškodila rezonanční komoru, hlavně polohu a zakřivení odrazivých zrcátek a tím by klesl výkon laseru. Plyn v laserech pro značení o výkonech 10 W až 150 W se nemění, zůstává stejný od výrobce a vydrží běžně v laseru 8 až 10 let. CO₂ laser byl použit u experimentu. [4, 24, 28]



Obrázek 7: Popis CO₂ laseru [28]

4.1.2. Nd-YAG lasery

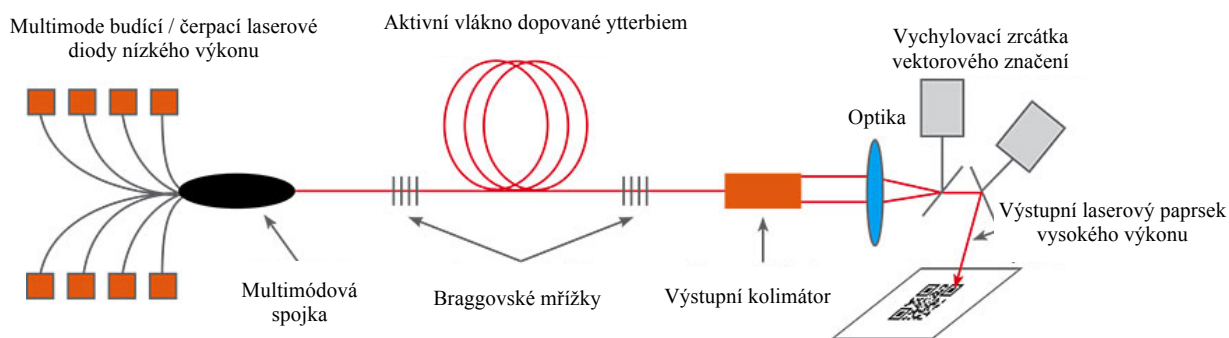
Nd-YAG (Neodym-Yttrium Aluminium Granat, obr. č. 8), tyto lasery bývají označovány také jako DPSS (Diode Pump Solid State laser), tedy diodově nebo lampou (např. Xe-výbojkou) buzený pevnolátkový laser a patří mezi nejpoužívanější pevnolátkové lasery. Tyto lasery nejčastěji pracují na vlnové délce $\lambda = 1060$ nm. Aktivní prostředí zajišťuje Yttrito-hlinitý granát $Y_3Al_5O_{12}$, bezbarvý, opticky izotropní krystal kubické struktury, dopovaný ionty Nd_3^+ . Může být však dopovaný i ionty např.: Erbium (Er_3^+), Holmium (Ho_3^+) a Ytterbium (Yb_3^+). V současné době se jedná o nejdůležitější krystal pro granátové lasery, neboť je zvládnuta technika pěstování krystalů i jejich opracování do tvarů tyčí i při zachování nejvyšší optické kvality. Tento krystal má velmi dobrou teplotní vodivost, v kontinuálním režimu se používá do výkonu 200 W a v pulsním do 1 kW. Čerpání krystalu se provádí lampou (dnes již na ústupu) nebo polovodičovými diodami a může být koncipováno z boku nebo zezadu krystalu, tím dojde ke stimulované emisi (přechod elektronu z excitovaného do základního energetického stavu). Životnost laseru se liší v závislosti na použité metodě buzení (výbojka/diody). Do rezonančního obvodu může být vložena součástka Q-switch (quality switch – zlepšující kvalitu paprsku), dokáže převést kontinuální mód na pulsní s vysokou energií. Při tomto ovládní laserového zdroje dochází k navýšení výkonu jednotlivého pulsu laseru nad hodnotu, která je daná exitačním výkonem. Frekvence spínání je vysokofrekvenční, řádově ve stovkách kHz. [4, 29, 30, 31]



Obrázek 8: Popis Nd-YAG laseru [31]

4.1.3. Fiber lasery

Fiber Glass laser (obr. č. 9), neboli laser s optickými vlákny byl objeven roku 1963, ale veřejnosti byl představen po dlouhém vývoji až v roce 1980 a jeho výkon dosahoval pouze několika mW. V roce 1990 byl představen ve wattové třídě a následně v 10wattové třídě. Zlom nastal roku 2000, kdy byl prezentován ve 100wattové třídě. V dnešní době se jeho výkony pohybují v desítkách kW. Ke generování záření dochází v jádru optického vlákna dopovaného prvky ze skupiny lanthanoidů, nejčastěji se užívá Erbium nebo Ytterbium. Specifikaci laserového paprsku a jeho užití dává průřez středního vlákna, který může být čtvercový, obdélníkový apod. K emisi laseru slouží podnět z laserových čerpacích diod a aktivní optické vlákno, které funguje jako zesilovač. Modifikací fiber laseru je laser z dvouplášťových vláken, který dosahuje velmi vysokého výkonu. Principem této varianty laseru je optické vlákno, které je aktivní, tedy nepřenáší pouze výkon z laserových diod, ale zvyšuje tento výkon. V praxi si lze představit středové optické vlákno, které je obklopeno druhým vláknem. Budící diody svítí do velkého optického vlákna a světelný tok působí na vlákno, které je umístěné uvnitř tohoto velkého vlákna. Vnitřní vlákno obsahuje právě aktivní prvek (např. Yb, Er). Výsledný paprsek vznikne v aktivním vlákně umístěném ve středu velkého vlákna. Zvýšení výkonu lze dosáhnout vyšším počtem laserových diod nebo optickým zesilovačem, který konvertuje malý světelný signál z budících diod do výkonného paprsku, často tisíckrát silnější, ale identický jako originál. Protože je teplo odváděno velkou plochou vlákna (až 30 m), není zde potřeba aktivního chlazení, pokud ano, chladí se vzduchem. Životnost tohoto laseru se pohybuje okolo 150000 hodin a vlnový rozsah dosahuje od 1030 až 1200 nm. Vlákenný laser s aktivním prvkem ytterbia byl použit v experimentu. [4,32]



Obrázek 9: Princip Fiber laseru [32]

4.2. Porovnání laserů pro přímé vypalování elastomerních forem

Tabulka 3: Porovnání laserů [27]

	Vláknový laser	Nd-YAG laser	CO ₂ laser
Velikost, geometrie	Kompaktní, robustní, odolný proti vibracím	Velké rozměry	Velké rozměry
Vlnový rozsah [nm]	1030–1200	1060	10600
Údržba	Bezúdržbový	Částečné nastavování komponent, výměna lamp, krystalů diod, čištění a výměna zrcadel	Částečné nastavování komponent, výměna lamp, čištění a výměna zrcadel
Účinnost	50 %	Max 25 %, spíše do 10 %	Max 25 %, spíše do 10 %
Velikost bodu s porovnáním Nd-YAG laserem	½	1	10
Optická cesta	Kabel, vlákno	Zrcadla, vlákno	Zrcadla, vlákno
Chlazení	Vzduch	Voda	Voda
tohoto typu zařízení Spotřeba	<250 W	<6 kW	<6 kW
Provozní náklady	Desítky až stovky eur	Stovky až tisíce eur	Stovky až tisíce eur
Kvalita svazku	$M^2 = 1(<1,05)$	$M^2 = <2$	$M^2 = 1$

Rozlišení i hloubka ostrosti je u CO₂ laseru je velmi omezená. Bez úpravy paprsku se dá docílit rozlišení bodu kolem 30 µm. Výhodou u CO₂ laseru je jeho výkon a tím i rychlost vypalování. Tomuto velmi rozšířenému laseru konkuruje Nd-YAG laser, který ovšem dosahuje mnohem vyššího rozlišení (až 5 µm) bodu a poměrně vysoké ostrosti hran. Energetické nároky a údržba u těchto dvou zmíněných laserů jsou poměrně vysoké, proto se dnes již dává přednost fiber laserům, které jsou energeticky a z pohledu údržby nenáročné i díky jednoduché koncepci. Rozlišení u tohoto laseru se pohybuje okolo 5 µm při použití modového stínítka a hloubka ostrosti kolem 300 µm. Hlavní nevýhodou tohoto typu zařízení je vlnová délka, ve které laser pracuje (1030–1200 nm). K ablaci totiž dochází pouze u materiálů, které dokáží absorbovat záření této vlnové délky. [4, 27]

5. Zařízení pro přímé vypalování elastomerních forem

Za vysoký nárůst výroby a společností, které se zabývají vývojem přímých gravírovacích strojů může především rozsah a kvalita této technologie, která se rozvíjí enormní rychlostí. Vyhovuje jak v oblasti ekologie svou bezodpadovostí, tak i nejnověji integrovanými vláknovými lasery, které jsou maximálně úsporné v oblasti spotřebované energie, aniž by tratile na svém výkonu. Rozličnost materiálů, které lze touto technologií zpracovat ji předurčuje technologii budoucnosti. V tabulce 4 je přehled gravírovacích strojů jednotlivých společností a porovnání jejich parametrů.

Gravírovací stroj LeadLaser PrintMaster Hybrid Flexostar 2.1, který byl použit v experimentu je v tabulce pod označením Lead Laser Flexostar 1.6/2.1/3.

Tabulka 4: Přehled gravírovacích zařízení a jejich parametrů [33]

Výrobce	CKK Laser Engraving Technology	Stork Prints Austria	Hell Gravure Systems	Itochu Sanki
Typové označení	CKK – HP – Flex	Agrios 5212M/5222M*	Premium Setter S 1600	AdFlex Direct
Délka [mm] Výška [mm] Hloubka [mm] Hmotnost [kg]	3600–7200 1600 1400 4500–9500	6050 1720 1440 4600	3750 1535 1690 4600	3500 1565 1240 3200
Ovládání stroje	Windows XP PC na rozhraní ovládání	bestIMAGE CAM PLUS	SPS	FlexoDirect (Windows PC)
RIP Software	CKK stroje Integrovan „on the fly“ RIP (lze off line)	bestIMAGE activ 3D RIP	Nezávislý výrobce	StudioRIP
Formát vstupu	TIFF	1,8bit TIFF, Pdf, bmp, et	1bit TIFF	1,8bit TIFF, RIP Pdf, PS, EPS, Ai
Přímé rytí LAMS vrstva	Ano Ne	Ano Ne	Ano Ne	Ano Ne
Typ laseru	CO ₂ laser	CO ₂ laser	Vláknový laser	CO ₂ laser
Počet laseru	2	1 (5212 M), 2 (5222M)	1	1 nebo 2
Výkon na jeden laser [Watt] Maximální výkon [m ² /h]	2× 500–550 0,5–2,0	580 Až 1,2 s 2 paprskovými jednotkami	– 0,5	400 >1,2
Nejmenší tiskový bod [μm] Max. hloubka gravury [μm] Max. šíře gravury [mm]	90 2000–3000 (v závislosti na rozlišení a požadované hloubce) 5500 (7200)	Cca 10 v závislosti na materiálu 1750	<10 800 1600	10 3000 2140, 3000 na vyžádání
Deska na válci Deska na sleeve Nekonečný sleeve Rovinné štočky Rotační síta Formy pro suchý ofset Ofsetové formy Ablační vrstva	Ne Ne Ano Ne – – – –	Ne Ano Ano Ano – – – –	– Ano Ano – – – – –	Ano Ano Ano Ano – – – –
Polymer Pryž EPDM Ostatní	Ano Ano Ano Keramické rastrové válce	Ano Ano Ano –	Ne Ano Ano SBR (černé)	Ano Ano Ano Silikon

Výrobce	CKK Laser Engraving Technology	Stork Prints Austria	Hell Gravure Systems	Itochu Sanki
Typové označení	CKK – HP – Flex	Agrios 5212M/5222M*	Premium Setter S 1600	AdFlex Direct
Upevnění desek: Vakuum Magnet	Ne Ne	– –	Ano Ne	Ano Ne (možný polyamantový válec)
Velikost bubnu (min–max) [mm]	–	1750 × 1206	–	157 × 1570
Velikost desky (min–max) [mm]	–	1206 × 1750	–	1570 × 2140
Síla desky (min–max) [mm]	–	Všechny běžné síly desek	–	Až 6,35
Průměr sleeveu (min–max) [mm]	50–500	260–1260	79,6–445,9	50–500
Délka sleeveu (min–max) [mm]	50–5500	300–1750	400–1600	100–2140 (3000 na vyžádání)
Max. hmotnost obrobku [kg]	1000	150	–	1 000
Maximální rozlišení [dpi]	2540	2540	5080	2540, 5080
Tónový rozsah [%]	5–95	1–99	1–99	<1–99
Speciální manipulační systém	Dle volby	–	Ne	Dle volby
Upínací systém	Čelistové sklíčidlo	Integrovaný vzduchový válec	Kužele nebo otevřená sklíčidla	Kužele nebo čelistové sklíčidlo
Tlakový vzduch [bar]	7	Min. 5 (bez sání)	6	6
Uzavřený cyklus vody	Ano	Ano (externí)	Ano	ano
Vysoké napětí [A]	63	32 (1 paprsek), 63 (2 paprsky)	20	25
Stejnoseměrné napětí [V]	380–415, 3 fáze + N + PE	400 (3 fáze)	400	380
Příkon [kW]	36	14 (1 paprsek), 28 (2 paprsky)	5	15
Frekvence [Hz]	50, 60	50	50, 60	50, 60
Předpoklady pro prostředí: Vlhkost [%]	<50	20–80 bez kondenzace	45–80 bez kondenzace	20–80
Teplota [°C]	15–25	16–25	18–30	10–30
Další možnosti	3D gravura	–	Jobticket–Workflow	–
Oblast aplikace	Flexo, ražba, rastrové válce	Flexo ITR, flexo, knižní tiskové formy, razící válce, tkáně	Přímá laserová gravura pro všechny segmenty flexotisku	Flexibilní obaly, etikety, knihy, síťotisk, suchý ofset, ražba, tapety, balící papír
Poznámky	–	Možnost integrace vzduchového válce	Rastr až do 80 l/cm	–

Výrobce	Lead Laser	Lead Laser	CKK Laser Endgraving Technology Ltd	CKK Laser Endgraving Technology Ltd
Typové označení	Duostar 1.6/2.1/3.1	Flexostar 1.6/2.1/3.1	CKK-MF	CKK-SMC
Délka [mm] Výška [mm] Hloubka [mm] Hmotnost [kg]	4950/5950/6950 1650/1650/1650 1620/1620/1620 3200/3500/4000	4950/5950/6950 1650/1650/1650 1620/1620/ 1620 3200/3500/4000	3600–7200 (v závislosti na délce rytiny, možná jiná délka) 1600 1400 4500–9500	2500 1600 1400 3500
Ovládání stroje	–	–	Windows XP PC na rozhraní ovládání	Windows XP PC na rozhraní ovládání
RIP Software	Kompatibilní s každým TIFF zařízením	Kompatibilní s každým TIFF zařízením	CKK stroje Integrovan „on the fly“ RIP (Ize off line)	CKK stroje Integrovan „on the fly“ RIP (Ize off line)
Formát vstupu	1 nebo 8bit TIFF	1 nebo 8bit TIFF	TIFF	TIFF
Přímé rytí	Ano	Ano	Ano	Ano
LAMS vrstva	Ano	Ne	Ano	Ne
Typ laseru	Vláknový, CO ₂ , Nd- YAG laser	CO ₂ laser	Vláknový laser	CO ₂ laser
Počet laseru	2x nosník	1	1–5	1
Výkon na jeden laser [Watt]	650 CO ₂ + 600 vláknový	650	200	400–600
Maximální výkon [m ² /h]	1 (materiál/závislost)	1 (materiál/závislost)	0,2–1,0	0,3–1,5
Nejmenší tiskový bod [μm]	6	10	50	90
Max. hloubka gravury [μm]	3000	3000	Až 500 (v závislosti na rozlišení obrazu)	Až 1500 (v závislosti na rozlišení obrazu)
Max. šíře gravury [mm]	1750/2285/3250	1750/2285/3250	5500 (7200)	1500
Deska na válci	Ano	Ano	Ano	Ne
Deska na sleeve	Ano	Ano	Ano	Ne
Nekonečný sleeve	Ano	Ano	Ano	Ano
Rovinné štočky	Ano	Ano	Ano	Ne
Rotační síta	–	–	–	–
Formy pro suchý ofset	–	–	–	–
Ofsetové formy	–	–	–	–
Ablační vrstva	–	–	–	–
Polymer	Ano	Ano	Ano	Ano
Pryž	Ano	Ano	Ano	Ano
EPDM	Ano	Ano	Ano	Ano
Ostatní	–	–	Keramické rastrové válce	Keramické rastrové válce
Upevnění desek:				
Vakuum	Ano	Ano	Ne	Ne
Magnet	Ano	Ano	Ne	Ne
Velikost bubnu (min – max) [mm]	50–600 (průměr)	50–600 (průměr)	–	–

Výrobce	Lead Laser	Lead Laser	CKK Laser Endgraving Technology Ltd	CKK Laser Endgraving Technology Ltd
Typové označení	Duostar 1.6/2.1/3.1	Flexostar 1.6/2.1/3.1	CKK-MF	CKK-SMC
Velikost desky (min-max) [mm]	160 × 160–1570 × 1750	160 × 160–1570 × 1750	–	–
Síla desky (min-max) [mm]	Až 5	Až 5	–	–
Průměr sleeveu (min-max) [mm]	50–600	50–600	50–500	50–300
Délka sleeveu (min-max) [mm]	50–1750/2 285/3 250	50–1750/2 285/3 250	50–5500	50–1200
Max. hmotnost obrobku [kg]	1500	1500	1000	500
Maximální rozlišení [dpi]	3000 (na vyžádání až 8000)	3000 (na vyžádání až 8000)	2540	2540
Tónový rozsah [%]	0,5–99, 80 l/cm	0,5–99, 80 l/cm	2–98	5–95
V celém rozsahu tónů 1–99 %	Ano	Ano	Volba	volba
Speciální manipulační systém	Volba	Volba	Volba	Volba
Upínací systém	Čelistová sklíčidla, kužele	Čelistová sklíčidla, kužele	Čelistová sklíčidla	Čelistová sklíčidla
Tlakový vzduch [bar]	6–9 200 l/min (bezolejový, suchý)	6–9 200 l/min (bezolejový, suchý)	7 (čištěný, suchý)	7 (čištěný, suchý)
Uzavřený cyklus vody	Ano	Ano	Ano	Ano
Vysoké napětí [A]	35	35	22	22
Stejnoseměrné napětí [V]	400/230, volba 415	400/230, volba 415	380–415, 3 fáze + N + PE	380–415, 3 fáze + N + PE
Příkon [kW]	10	10	13	18
Frekvence [Hz]	50 (60 volba)	50 (60 volba)	50, 60	50, 60
Předpoklady pro prostředí: Vlhkost [%]	Stabilní vlhkost vzduchu	Stabilní vlhkost vzduchu	<50 (klimatizace)	<50 (klimatizace)
Teplota [°C]	16–25	16–25	15–25	15–25
Další možnosti	–	–	–	–
Oblast aplikace	Flexo ITR, Flexo-, knižní a ofsetové formy, razící válce	Flexo ITR, Flexo-, knižní a ofsetové formy, razící válce	Flexo	Flexo
Poznámky	–	–	–	–

Výrobce	CKK Laser Engraving Technology Ltd	Stork Prints Austria	Stork Prints Austria	Hell Gravure Systems
Typové označení	CKK-SMF	Agrios MF	Helios F	Premium Setter S 1300
Délka [mm] Výška [mm] Hloubka [mm] Hmotnost [kg]	2500 1600 1400 3500	6050 1720 1440 4600	2700 1285 1130 1500	2770 – 1200 –
Ovládání stroje	Windows XP PC na rozhraní ovládání CKK stroje	BestIMAGE CAM PLUS	BestIMAGE CAM PLUS	SPS
RIP Software	Integrovan „on the fly“ RIP (Ize off line)	BestIMAGE aktive 3D RIP	BestIMAGE aktive 3D RIP	Nezávislý výrobce
Formát vstupu	TIFF	1, 8bit TIFF, Pdf, BMP, atd.	1, 8bit TIFF, Pdf, BMP, atd.	8bit TIFF
Přímé rytí	Ano	Ano	Ano	Ano
LAMS vrstva	Ano	Ne	Ne	Ne
Typ laseru	Vláknový laser	Vláknový laser, CO ₂ laser	Vláknový laser	Vláknový laser
Počet laseru	1–5	1 nebo 2	1	1
Výkon na jeden laser [Watt]	2	580 (CO ₂),	200/400/600	–
Maximální výkon [m ² /h]	0,2–1,0	600 (vláknový) Až 1,2	Až 0,5	0,5
Nejmenší tiskový bod [μm]	50	<10	<10	10
Max. hloubka gravury [μm]	Až 500 (v závislosti na rozlišení obrazu)	V závislosti na materiálu	V závislosti na materiálu	800
Max. šíře gravury [mm]	1500	1750	720	1350
Deska na válci	Ano	Ano	Ano	–
Deska na sleeve	Ano	Ano	Ano	Ano
Nekonečný sleeve	Ano	Ano	Ano	Ano
Rovinné štočky	Ano	Ne	Ne	–
Rotační síta	–	–	Ne	–
Formy pro suchý ofset	–	–	–	–
Ofsetové formy	–	–	–	–
Ablační vrstva	–	–	–	–
Polymer	Ano	Ne	Ne	Ne
Pryž	Ano	Ano	Ano	Ano
EPDM	Ano	Ano	Ano	Ano
Ostatní	Keramické rastrové válce	Ano	Ano	SBR (černý)
Upevnění desek: Vakuum magnet	Ne Ne	Ne Ano	Ne Ano	Ano Ne
Velikost bubnu (min–max) [mm]	–	1750 × 1206	720 × 1206	–

Výrobce	CKK Laser Engraving Technology Ltd	Stork Prints Austria	Stork Prints Austria	Hell Gravure Systems
Typové označení	CKK-SMF	Agrios MF	Helios F	Premium Setter S 1 300
Velikost desky (min–max) [mm]	–	1206 × 1750	720 × 1206	–
Síla desky (min–max) [mm]	–	Všechny běžné síly	Všechny běžné síly	–
Průměr sleeveu (min–max) [mm]	50–300	260–1206	85–385	95,5–302,4
Délka sleeveu (min–max) [mm]	50–1200	300–1750	150–720	400–1350
Max. hmotnost obrobku [kg]	250	150	–	–
Maximální rozlišení [dpi]	2540	5080	5080	5080
Tónový rozsah [%]	2–98	1–99	1–99	1–99
V celém rozsahu tónů 1–99 %	volba	Ano	Ano	Ano
Speciální manipulační systém	Volba	–	–	Ne
Upínací systém	Čelistové sklíčidlo	Integrovaný vzduchový válec	Rychloupínací adaptér, kužele, čelistové sklíčidlo	Kužele nebo otevřené sklíčidlo
Tlakový vzduch [bar]	7 (čistý, suchý)	Min. 5 (bez sání)	Min. 5 (bez sání)	6
Uzavřený cyklus vody	Ano	Ano (externí)	Ano (externí)	Ano
Vysoké napětí [A]	22	Závisí na výkonu laseru	Závisí na výkonu laseru	20
Stejnoseměrné napětí [V]	380–415, 3 fáze +N + PE	–	–	400
Příkon [kW]	13	–	–	5
Frekvence [Hz]	50, 60	–	–	50, 60
Předpoklady pro prostředí:				
Vlhkost [%]	<50 (klimatizace)	20–80 nekondenzovaná	20–80 nekondenzovaná	45–80 nekondenzovaná
Teplota [°C]	15–25	16–25	16–25	18–30
Další možnosti	–	–	Vypalování síť pro rotační sítotisk	Jobticket-Workflow
Oblast aplikace	Flexo	Flexo ITR, Flexo-, knižní tiskové formy, razící válce, tkáně	Etikety	Přímá gravura pro všechny segmenty flexotisku
Poznámky	–	S integrovaným vzduchovým válcem	–	Rastr až do 80 l/cm

6. Praktická část

Cílem tohoto experimentu bylo porovnání kvality vypálení sleeveů dvou předních firem na výrobu elastomerních forem pro flexotisk CO₂ a YAG vláknovým laserem. Sleevey byly dodány od společností Ligum spol, s.r.o., Jablonec nad Nisou a Boettcher ČR, k.s, Vyškov. Ty byly následně gravírovány ve společnosti Gravitech s.r.o. strojem LeadLaser PrintMaster Hybrid Flexostar 2.1.

6.1. Použitý materiál:

- **Ligum spol, s.r.o., Jablonec nad Nisou:**
Sleeve typové označení A1, 65 °ShA, EPDM (vzorek L1,L2, L3)
- **Boettcher ČR, k.s, Vyškov:**
Sleeve typové označení WS 746, 70 °ShA, EPDM (vzorek B1, B2)
- **Použitá barva pro kontrolní nátisk:**
Nitrobase WZ 64–6 WC IS pro vrchní tisk
- **Použitý papír pro nátisk:**
Label Print 68 g/m², jednostranně natíraný, etablovaný pro vlhký proces

6.2. Použité stroje a přístroje:

- **LeadLaser PrintMaster Hybrid Flexostar 2.1**

Hybridní gravírovací stroj s jednou vypalovací hlavou osazenou dvěma lasery, CO₂ laserem a YAG vláknovým laserem. Tyto lasery mohou pracovat jak samostatně, tak i společně. Při hybridní gravuře CO₂ laser vypaluje hloubku a reliéf tiskového bodu, zatímco YAG vláknový laser tiskovou plošku bodu. Lasery pracují s výkonem od 400 do 1200 W při výrobní kapacitě 0,15–1,0 m²/hod. K vytvoření reliéfu na tiskové formě je třeba vytvořit 1bitové TIFF separace, které jsou definovány grafickým studiem, poté odeslány na produkci tiskových forem a software Lead Laseres definuje tvar síťového bodu a hloubku gravury. Do nastavení reliéfu obsluha zasahuje dle zkušeností v závislosti na gravírovaném materiálu. Výrobní rozsah je do 2100 mm, obvod válce 1570 mm. Rozlišení se pohybuje do 200 lpi, 3500 dpi. Rozlišení bodu CO₂ laseru u toho typu zařízení je 20 μm a u YAG vláknového laseru 10 μm. V zařízení je integrována skenovací hlava na proměření rovnoměrnosti povrchu vzorků. Měření probíhá 2 cm od okrajů a uprostřed sleeveu, dále se provádí měření obvodu. Po kontrolním vypálení lze vzorek tiskových kuželek zkontrolovat přiřazeným zařízením, Peret microscope. Tolerance gravury je závislá na typu elastomeru a na výkonu použitého laseru. [34, 35]

- **Elektronový mikroskop JEOL – JSM 5600 LV, Japan**

Rozlišení: 5 nm

Proud na sondě: 10^{-12} – 10^{-6} A

Urychlovací napětí: 0,5–30 kV

Velikost vzorku: $12,5 \times 12,5$ mm

Detektory: SE, EDX [36]

- **Optický mikroskop Mirazoom MY 902**

Zvětšení: $10\times$ – $40\times$, $200\times$

Maximální rozlišení: 9.0 MP – 3488×2676 px

- **Nátiskový stroj Saueressing Engineering**

Nátiskový stroj F.P. 100/300, výrobce Saueressig GmbH + Co.

Nátiskový stroj má tiskový obvod 315 mm, tiskovou šířku 260 mm, max. šířku potiskovaného materiálu 300 mm, tisková rychlost 10 m/min

Aniloxový válec keramický, šestiboké jamky, 300 linek/cm, objem jamek $4,5 \text{ cm}^3/\text{m}^2$

7. Příprava vzorků a postup práce

7.1. Měření rovnoměrnosti povrchů sleeveů

Na gravírovacím stroji LeadLaser PrintMaster Hybrid Flexostar 2.1 byla scanem proměřena rovnoměrnost povrchů sleeveů vzorků L1, L2, L3, B1, B2.

Vyhodnocení výsledků měření:

- **L1** – vykazoval světlé pruhy, házivost, nerovnoměrný povrch. Vady na tomto sleeveu byly minimální a byl zařazen do experimentu
- **L2** – propadlý sleeve, vyřazen
- **L3** – velmi podobný sleeveu L1, zařazen do experimentu
- **B1** – viditelné čáry, tyto nedokonalosti byly odstraněny očištěním. Sleeve byl zařazen do experimentu.
- **B2** – zvednuté okraje sleeveu. Tato nedokonalost nebyla nijak na závadu (okraje byly po kontrolní gravuře odřezány), sleeve byl zařazen do experimentu.

7.2. Gravírování

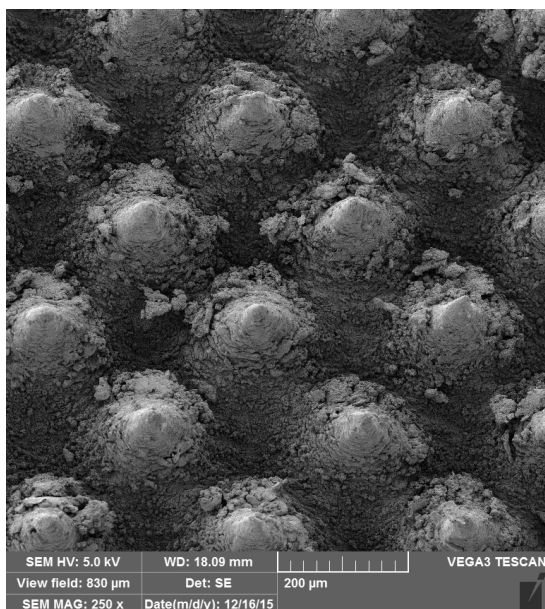
V tomto kroce bylo provedeno samotné gravírování sleeveů L1, L3, B1, B2 na gravírovacím stroji LeadLaser PrintMaster Hybrid Flexostar 2.1. Níže v tabulce 5 je uveden přehled parametrů gravírování jednotlivých vzorků.

Tabulka 5: Přehled parametrů gravírování sleeveů

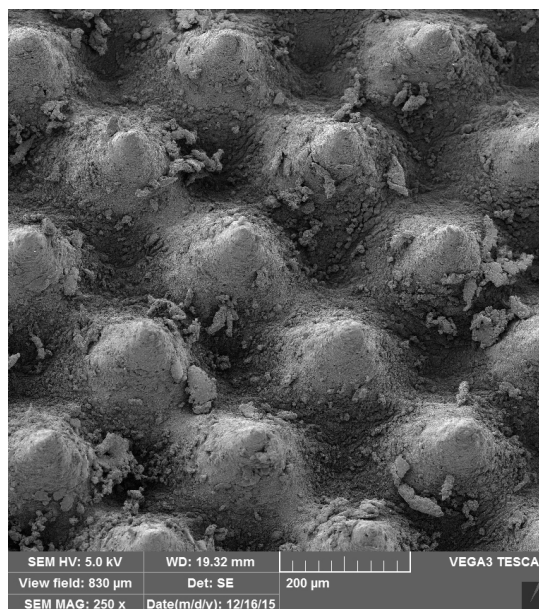
	Typ použitého laseru	Rychlost vypalování	Hloubka gravury
Vzorek L1	CO ₂ laser	933 cm/s	0,6 mm
Vzorek L3	YAG vláknový laser	900 cm/s	0,6 mm
Vzorek B1	CO ₂ laser	1050 cm/s	0,6 mm
Vzorek B2	YAG vláknový laser	1017 cm/s	0,6 mm

7.3. Příprava vzorků

Ze zkoumaných vygravírovaných sleeveů byly vyřezány vzorky o velikosti 12 × 12 mm. Byly vyřezány vzorky 5% rastru 107 lpi a pozitivního a negativního 1,5b textu. Aby bylo možné tyto vzorky snímat na elektronovém mikroskopu, bylo je nutné upravit pozlacením. Snímání elektronovým mikroskopem



Obrázek 10: Vzorek L1 5% rastr 107 lpi, CO₂ laser



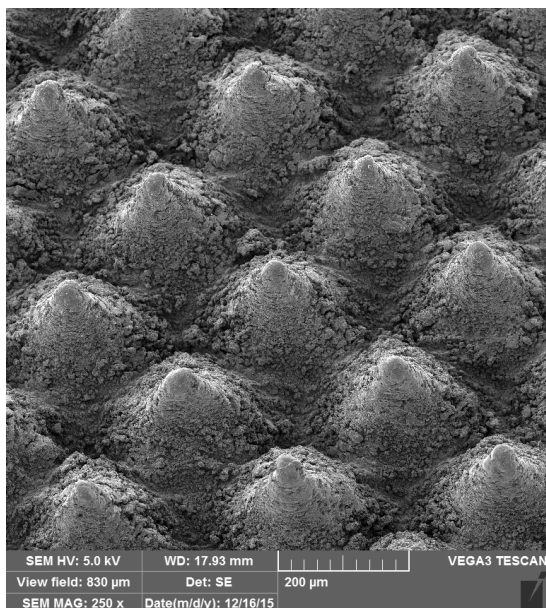
Obrázek 11: Vzorek L3 5% rastr 107 lpi, YAG vláknový laser

Vlastní snímání připravených vzorků bylo provedeno na elektronovém mikroskopu JEOL – JSM 5600 LV, Japan. Jednotlivé snímky včetně analýzy vzorků 5% rastru 107 lpi, pozitivního a negativního textu, jsou přiloženy níže.

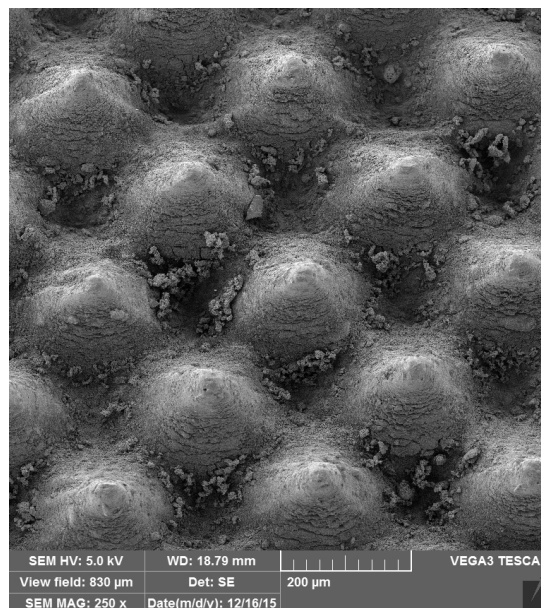
L1 – velmi hrubě opracovaný povrch CO₂ laserem se značnými nečistotami. Přes narušený povrch nejsou reliéfy tiskových bodů dobře patrné, tiskové plošky jsou nejasné a místy poškozené laserem.

L3 – hladce opracovaný povrch laserem s minimálním poškozením a narušení elastomeru. Nečistoty jsou nižšího rozsahu jak u vzorku L1, ale větších rozměrů. Reliéfy jednotlivých tiskových bodů jsou proporcčně stejnorodé s celkem ostře definovanou tiskovou ploškou s minimálním poškozením.

Při větším zvětšení (na celou obrazovku) je vidět určitý rozdíl. U CO₂ laseru je vrchní ploška méně zřetelná a také narušení bočních stěn kuželky je větší, jsou tam vidět praskliny, což u YAG není patrné.



Obrázek 12: Vzorek B1 5% rastr 107 lpi, CO₂ laser



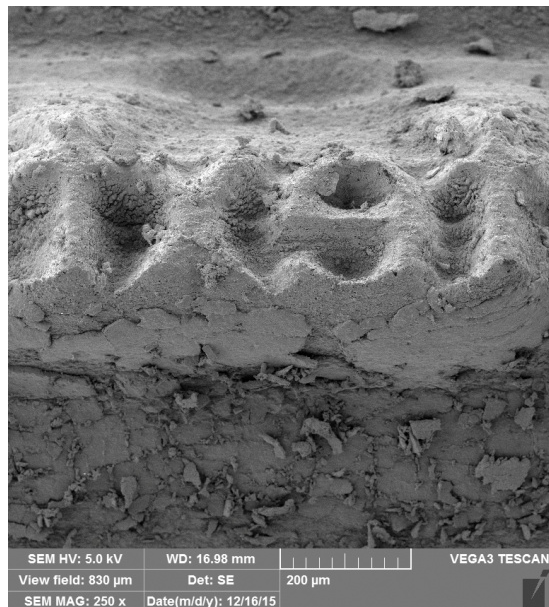
Obrázek 13: Vzorek B2 5% rastr 107 lpi, YAG vláknový laser

B1 – popraskaný až drolivý povrch po zásahu laseru CO₂. Reliéfy bodů jsou stejnorodé a tiskové plošky dobře rozeznatelné, některé poškozené.

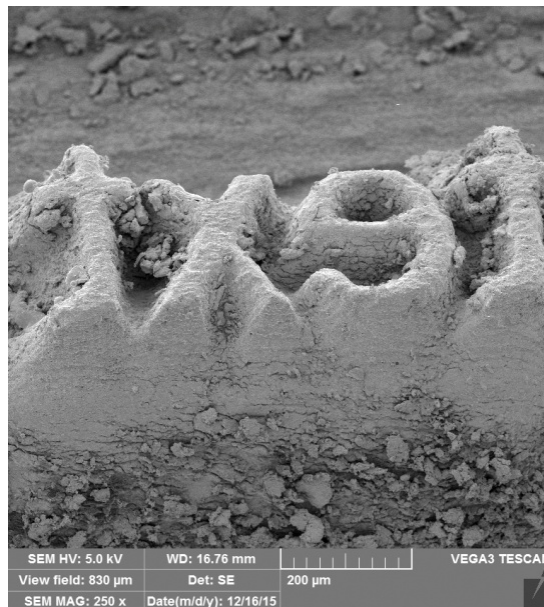
B2 – hladký jemně opracovaný povrch s mírným popraskáním a hrubými nečistotami. V základnách se body místy stýkají a volně přecházejí jeden do druhého. Reliéf tiskového bodu je dobře definovaný, tiskové plošky jsou minimálně poškozené a velmi dobře definované.

Ze snímků L1 a L3 je patrné, že i přes čistotu vypálení má L1 hůře definovaný reliéf bodu. Body na sebe v základně reliéfu navazují a mají hůře patrné i plošky tiskových bodů, které jsou ve velké míře poškozené CO₂ laserem. Vzorek L3 vykazuje značné nečistoty, ale reliéf i vrcholy bodů jsou jasně postřehnutelné. B1 má velmi popraskaný a hrubý povrch po vypálení, reliéf bodu je jasně definovaný. B2 má hladký jemně popraskaný povrch způsobenou ablací, body mají velmi širokou základnu reliéfu a navazují na sebe. Ze snímků vyplývá, že rozdíl rozlišení 10 µm mezi CO₂ laserem a YAG vláknovým laserem je patrné na první pohled. Na vzorcích L1 a B1 gravírovaných CO₂ laserem je patrné narušení elastomeru popraskáním a se značnou drolivostí povrchu pryže.

Oproti tomu vzorky L3 a B2 vypalované YAG vláknovým laserem mají jemnější a dokonalejší zpracování a povrch elastomeru je minimálně narušen. Je třeba zdůraznit, že i rozdíl tvrdosti dodaných sleeveů, (L1, L3 65 °ShA a B1, B2 70 °ShA) hraje významnou roli. U sleeveů s vyšší tvrdostí (B1, B2) je znatelné vyšší narušení povrchu (popraskání, drolivost).



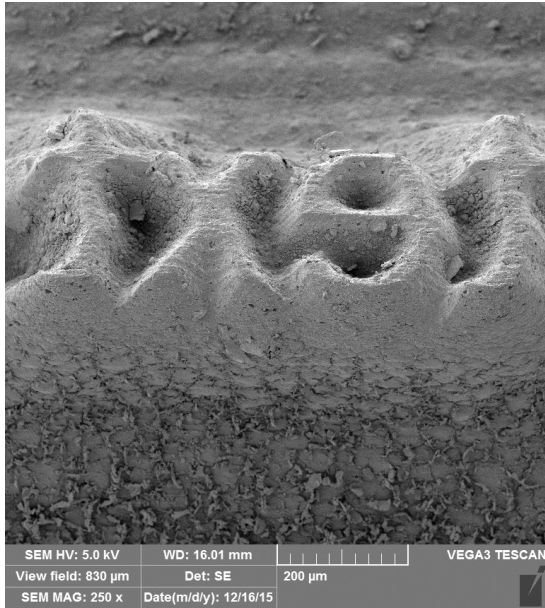
Obrázek 14: L1, pozitivní text, CO₂ laser



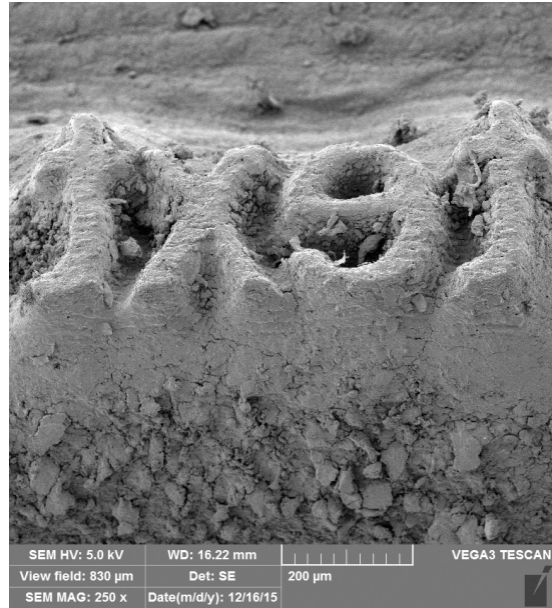
Obrázek 15: L3, pozitivní text YAG vláknový laser

L3– poměrně hladký povrch s hrubými nečistotami mezi písmeny *x* a *t*, celkově je patrná stejná hloubka gravury a dobré vykreslení oblouků. Na tiskových plochách písma jsou znatelné vroubky. Písmo vykazuje dobrou ostrost.

L1 – celkově velmi špatná vykreslenost písmen, která jsou do sebe slitá. Na snímku je vidět i nestejnoroďá hloubka gravury. Tiskové plochy písmen jsou místy poškozené (odloupnuté).



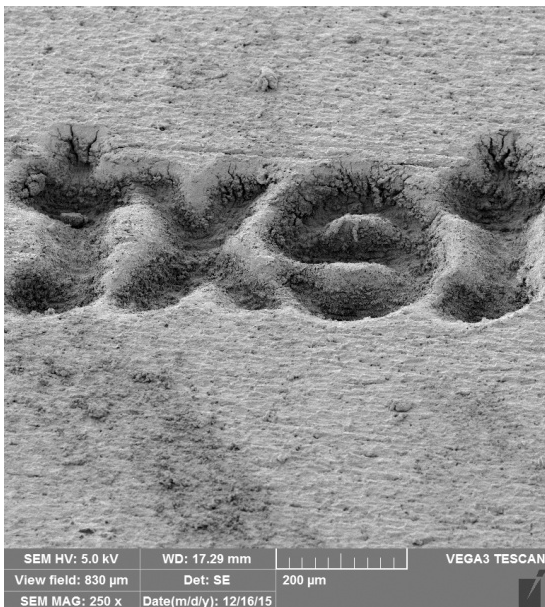
Obrázek 16: Vzorek B1, pozitivní text, CO2 laser



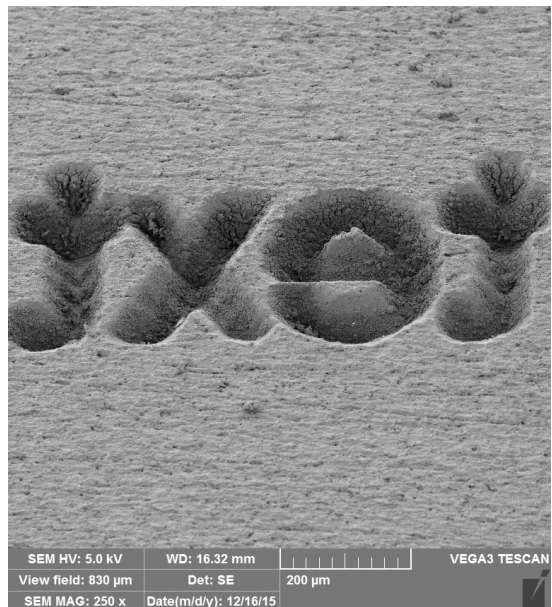
Obrázek 17: Vzorek B2, pozitivní text, YAG vláknový laser

B2 – hrubě opracovaný povrch laserem s nečistotami, písmena jsou dobře čitelná, je znatelná mírná deformace písmen. Tiskové plochy jsou hrubě opracované, mají nerovný povrch

B1 – hladký jemně opracovaný povrch s dobře čitelnými písmeny. Oblouky jsou velmi dobře definované. Písmena *t* a *x* jsou do sebe slitá. Rovné linie jsou pokroucené a v horním účaří jsou písmena velmi špatně definovaná



Obrázek 18: Vzorek L1, negativní text, CO₂ laser

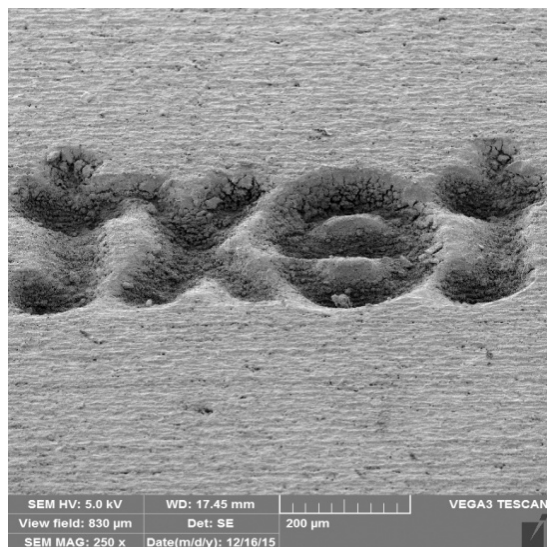


Obrázek 19: Vzorek L3, negativní text, YAG laser

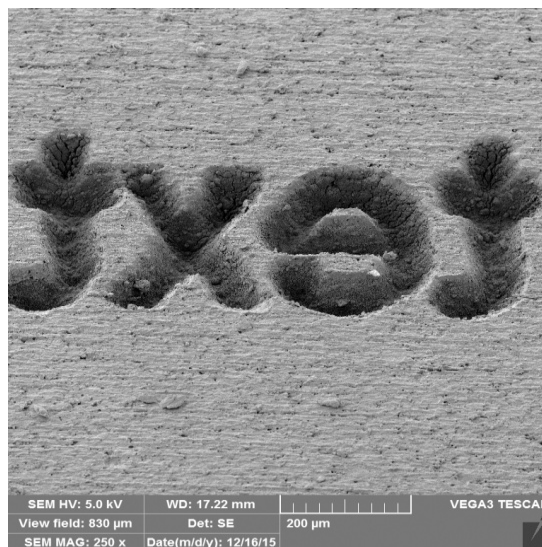
U obou materiálů je patrné, že CO₂ laser vytváří mnohem hrubší tvar písmen, u YAG laseru je výsledek velmi podobný. Také je vidět, že u L3 je povrch hrubší a detaily méně prokreslené než u vzorku B2.

L1 – rozpraskané okraje po zásahu laseru, písmo působí rozpláclym dojmem a nízkou hloubkou gravury. Rovné linie písmen zanikají, gravura je příliš silná. Tisknoucí plocha mezi písmeny je deformovaná.

L3 – stejnorodá hloubka gravury, písmena jsou velmi dobře ohraničená a vykazují velmi dobrou ostrost hran.



Obrázek 20: Vzorek B1, negativní text, CO₂ laser



Obrázek 21: Vzorek B2, negat. text, YAG vláknový laser

B1 – struktura povrchu je popraskaná s mírnými nečistotami, hloubka gravury není stejnorodá, kontury jsou nejasné a písmena se kontinuálně rozšiřují směrem k povrchu, tím došlo i ke slití u písmen *t* a *x*

B2 – hloubka gravury i čitelnost písmen je velmi dobrá. Vysoká ostrost hran, text působí stejnorodým a dobře čitelným dojmem

Vzorky vypálené laserem CO₂ jsou neostrého charakteru se znatelným poškozením elastomeru paprskem. Zatímco vzorky gravírované YAG vláknovým laserem jsou mnohem ostřejšího čistějšího charakteru bez známek poškození, či nerovností.

7.4. Vzorky na optické měření

Vzorky (sleevy) pro měření optickým mikroskopem Mirazoom MY 902 byly nejdříve omyty a následně vyfoukány vzduchem. L1 a L3 se celkově čistily snadněji – téměř čisté vzorky (cca z 95 %). Ze vzorků B1 a B2 byly špatně odstranitelné nečistoty – čistota ze 75 %. Poté byly nasnímané optickým mikroskopem přímo ze sleeveů a následně byl proveden nátisk na flexotiskovém nátiskovém stroji F.P. 100/300, výrobce Saueressig GmbH + Co. Tisky byly rovněž nasnímány.

7.5. Nátisk na nátiskovém stroji

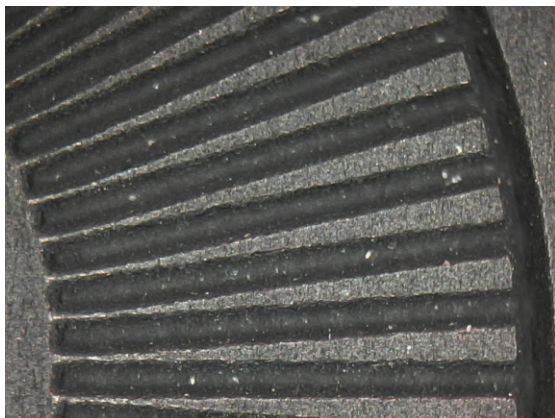
Stanovení tekutosti barvy

Barva Nitrobase WZ 64–6 WC IS byla naředěna etanolem a vlila se do DIN pohárku po okraj a stopkami se měřil čas po trhání barvy, která z pohárku vytékala (optimální čas tekutosti je stanoven mezi 15–20 s – podle technického listu). Hodnota tekutosti u naředěné barvy byla 19,6 s. Poté byl do naředěné barvy přidán zpomalovač (Dovanol PM – směs ethoxypropanolu a methoxypropanolu) z důvodu rychlého zasychání barvy v aniloxovém válci a byl opakován měřicí proces ve DIN pohárku. Výsledná hodnota tekutosti barvy byla stanovena na 14,8 s.

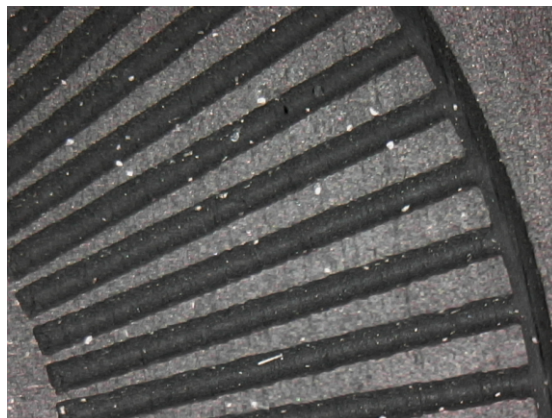
Příprava nátiskového stroje F.P. 100/300, výrobce Saueressig GmbH + Co:

- Zapojení zařízení do elektrorozvodné sítě
- Vložení dutinky na navíjení potiskovaného materiálu
- Natažení dráhy papíru – protažení přes tlakový válec a následné zabrzdění odvíjení pro snadnější uchycení na navíjecí dutinku potiskovaného materiálu lepící páskou
- Připojení tlakového vzduchu na vzduchový trn a poté nasazení sleeveu
- Instalace formového válce do stroje
- Instalace keramického aniloxového válce 300 l/cm
- Nános připravené barvy (objem jamek aniloxového válce) $4,5 \text{ cm}^2/\text{m}^3$
- Přistavení formového válce
- Přistavení stěrky k aniloxovému válci
- Přistavení aniloxového válce k formovému do tlaku a následně z tlaku vypnout a nastavit tlakovou měрку na hodnotu 0
- Přistavení aniloxového válce k formovému do tlaku a na měrci nastavit hodnotu 10 (tento proces je třeba opakovat, dokud nebude rovnoměrně srovnaný tlak po obou stranách stroje) (Přítlak tiskové formy k materiálu je 0,1 mm)
- Zapne se sušení potiskovaného materiálu, které je nutné vhodně naředit se studeným vzduchem
- Rozjetí stroje a za chodu nalít barvy do barevníku

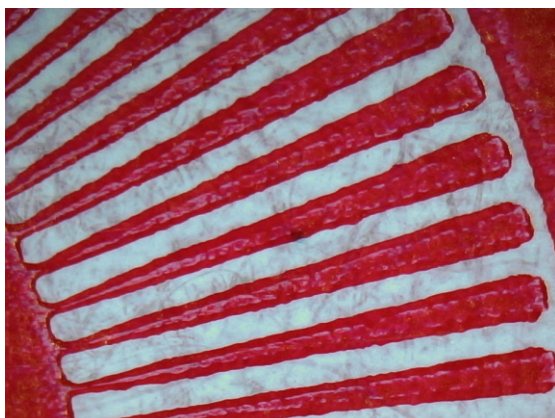
Porovnání vzorků Sleeveů a tisku



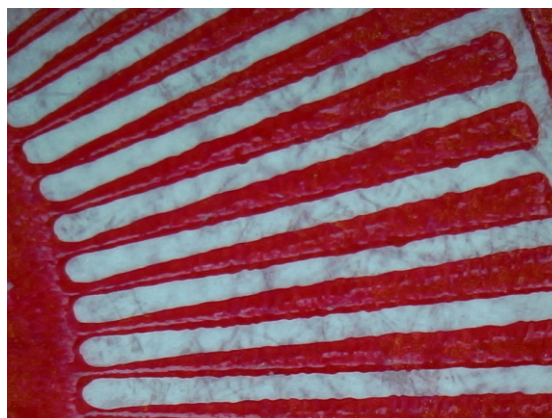
Obrázek 22: Vzorek L1, CO2 laser, soustředěné paprsky



Obrázek 23: Vzorek L3, YAG vláknový laser, soustředěné paprsky

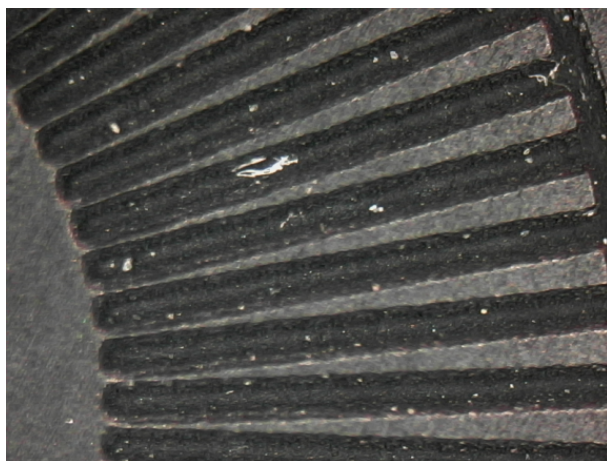


Obrázek 24: Vzorek L1, CO2 laser, soustředěné paprsky

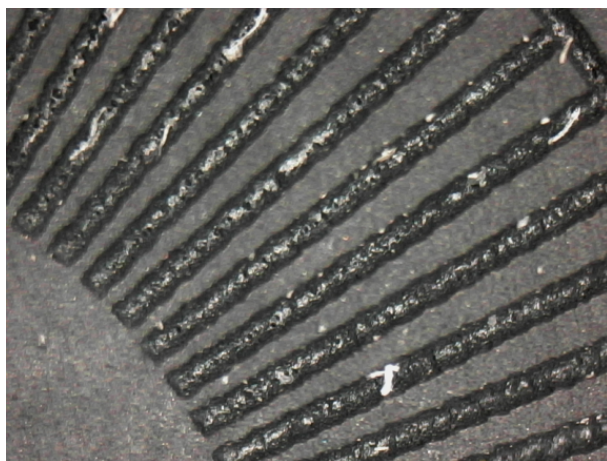


Obrázek 25: Vzorek L3, YAG vláknový laser, soustředěné paprsky

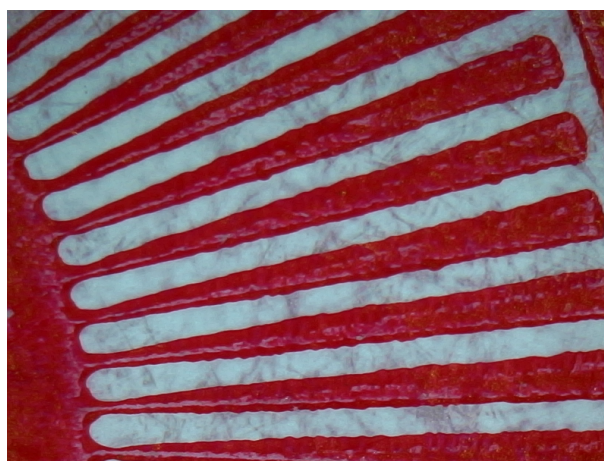
Na snímcích sleeveů je patrný rozdíl v šíři gravury paprsků. U vzorku L1 vypáleného CO₂ laserem se paprsky směrem ke středu téměř sbíhají až slévají. Zatím co gravura YAG vláknovým laserem je naprosto přesná a rovnoměrná s velmi dobrou ostrostí hran. V tisku je u vzorku L1 sbíhavost paprsků taktéž viditelná. Kolem středu paprsků v blízkosti gravury je znatelné narušení tiskového prostoru, plocha je neúplně zabarvena. Oproti tomu vzorek L3 v tisku vykazuje plně zabarvené plochy.



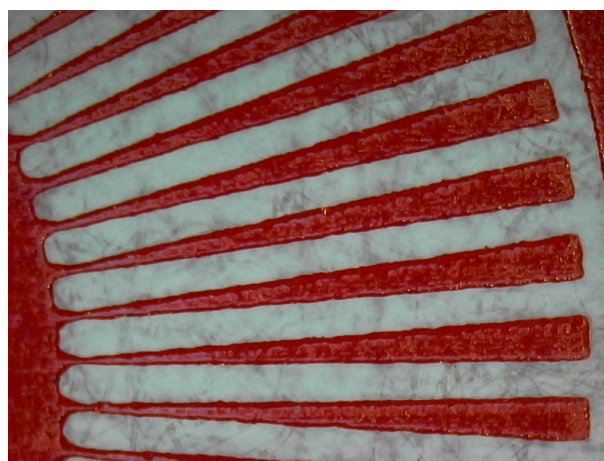
Obrázek 26: Vzorek B1, CO₂ laser, soustředěné paprsky



Obrázek 27: Vzorek B2, YAG vláknový laser, soustředěné paprsky



Obrázek 28: Vzorek B1, CO₂ laser, soustředěné paprsky



Obrázek 29: Vzorek B2, YAG vláknový laser, soustředěné paprsky

Na snímcích sleeveů je patrný rozdíl použitého laseru. CO₂ laser má větší sílu paprsku (20 μm) a opět se zde projevuje sbíhavost ke středu soustředěných paprsků. V porovnání s předchozím snímkem (obr. č. 22) je ještě výraznější, což může být zapříčiněno tvrdostí elastomeru (70 °ShA). Vzorku B1 je nevýrazný u sbíhajících se paprsků. Vláknový laser u vzorku B2 naopak vykreslil rovnoměrné linky, ale s nízkou ostrotí hran, které jsou nerovnoměrně opracované. Tyto nerovnosti jsou patrné i u tisku (obr. č. 27).

8. Závěrečné hodnocení analýzy

Jednoznačně YAG vláknový laser je mnohem přesnější a jemnější. Dokáže lépe pracovat s konturami a je po všech kvalitativních stránkách lepší. U CO₂ laseru je znatelné menší rozlišení paprsku i výkon, ve kterém pracuje. V porovnání dodaných návleků byl lépe gravírovatelný měkkší vzorek (L1, L3). Vzorky B1 a B2 vykazovaly větší drolivost a popraskání po zásahu laserem.

Vzorek L3 je v celkovém testu hodnocen jako nejlepší. V bakalářské práci jsou vytištěné vzorky přiloženy pro kontrolu, celkový náhled a vjem výsledného tisku s porovnáním výsledných fotografií.

Na nekonečném klínu 50% rastru 107 lpi je na přiložených vzorcích jasně patrné, že u vzorku L3 je klín rovnoměrně zbarvený bez jakýchkoli niancí.

9. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Zobrazení výšky profilu drsnosti R_z [9]	10
Obrázek 2: Znázornění výškového parametru R_a [9]	10
Obrázek 3: Znázornění tvaru reliéfu různými metodami [1]	15
Obrázek 4: Popis reliéfu tiskového bodu vypáleného laserem [21]	16
Obrázek 5: Schéma laseru [25]	16
Obrázek 6: Ukázka konfigurace laserových mód [27]	17
Obrázek 7: Popis CO ₂ laseru [28]	18
Obrázek 8: Popis Nd-YAG laseru [31]	19
Obrázek 9: Princip Fiber laseru [32]	19
Obrázek 10: Vzorek L1 5% rastr 107 lpi, CO ₂ laser	29
Obrázek 11: Vzorek L3 5% rastr 107 lpi, YAG vláknový laser	29
Obrázek 12: Vzorek B1 5% rastr 107 lpi, CO ₂ laser	30
Obrázek 13: Vzorek B2 5% rastr 107 lpi, YAG vláknový laser	30
Obrázek 14: L1, pozitivní text, CO ₂ laser	31
Obrázek 15: L3, pozitivní text YAG vláknový laser	31
Obrázek 16: Vzorek B1, pozitivní text, CO ₂ laser	32
Obrázek 17: Vzorek B2, pozitivní text, YAG vláknový laser	32
Obrázek 18: Vzorek L1, negativní text, CO ₂ laser	32
Obrázek 19: Vzorek L3, negativní text, YAG laser	32
Obrázek 20: Vzorek B1, negativní text, CO ₂ laser	33
Obrázek 21: Vzorek B2, negat. text, YAG vláknový laser	33
Obrázek 22: Vzorek L1, CO ₂ laser, soustředěné paprsky	35
Obrázek 23: Vzorek L3, YAG vláknový laser, soustředěné paprsky	35
Obrázek 24: Vzorek L1, CO ₂ laser, soustředěné paprsky	35
Obrázek 25: Vzorek L3, YAG vláknový laser, soustředěné paprsky	35
Obrázek 26: Vzorek B1, CO ₂ laser, soustředěné paprsky	36
Obrázek 27: Vzorek B2, YAG vláknový laser, soustředěné paprsky	36
Obrázek 28: Vzorek B1, CO ₂ laser, soustředěné paprsky	36
Obrázek 29: Vzorek B2, YAG vláknový laser, soustředěné paprsky	36

10. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Přehled kaučuků používaných pro výrobu flexotiskových pryžových forem	8
Tabulka 2: Informativní doba skladování pro výrobky z pryže, doporučeno výrobcem.....	12
Tabulka 3: Porovnání laserů [27].....	20
Tabulka 4: Přehled gravírovacích zařízení a jejich parametrů [33].....	21
Tabulka 5: Přehled parametrů gravírování sleeveů	29

11. Seznam použitých zkratek

CtP	Computer to Plate
UV	Ultraviolet (ultrafialové záření)
LAMS	Laser Ablation Mask Systém
NR	Přírodní kaučuk
SBR	Butadien-styrenový kaučuk
EPDM	Etylen-propylen-dienový kaučuk
NBR	Butadien-akrylonitrilový kaučuk
MVQ	Silikový kaučuk
EPDM+NBR	Směs etylen-propylen-dienového a butadien-akrylonitrilového kaučuku
MVQ+EPDM	Směs etylen-propylen-dienového a silikonového kaučuku
IRHD	International Rubber Hardness Degree
N	Zkouška pro měření tvrdosti, normální 35–85 IRHD
H	Zkouška pro měření tvrdosti, vysoká tvrdost 85–100 IRHD
L	Zkouška pro měření tvrdosti, nízká tvrdost 10–35 IRHD
M	Zkouška pro měření tvrdosti, mikrozkouška 35–85 IRHD
CN	Zkouška pro měření zdánlivé tvrdosti, normální
CH	Zkouška pro měření zdánlivé tvrdosti, vysoká tvrdost
CL	Zkouška pro měření zdánlivé tvrdosti, nízká tvrdost
CM	Zkouška pro měření zdánlivé tvrdosti, mikrozkouška
TIFF	Tag Image File Format
Laser	Light Amplification by means of Stimulated Emission of Radiation, zdroj elektromagnetického záření, který je časově i prostorově koherentní.
MM	MultiMode, mód určuje kvalitu paprsku – dvě soustředěné kružnice
TEM Mode	Transverse Electromagnetic Mode, velmi malý bod
Nd-YAG laser	Neodym-Yttrium Aluminium Granat, aktivní prostředí laseru zajišťuje Yttrito-hlinitý granát $Y_3Al_5O_{12}$, bezbarvý, opticky izotropní krystal kubické struktury, dopovaný ionty Nd^{3+} .
DPSS	Diode Pump Solid State laser), diodově nebo lampou (např. Xe-výbojkou) buzený pevnolátkový laser
Xe-výbojka	výbojka s náplní xenonu

12. Použitá literatura

1. Prof. RNDr. Marie Kaplanová, CSc., a kolektiv, Moderní polygrafie, Praha. Svaz polygrafických podnikatelů 2009, ISBN 978-80-259-4230-2
2. Bc. Lenka Nováková, Vliv vlastností elastomerní tiskové formy na kvalitu tisku, Pardubice 2016. Univerzita Pardubice, Diplomová práce
3. Ing. Jiří Hejduk, Ph.D., Vliv fyzikálních vlastností povrchů pryžových válců na efektivnost přenosu barvy. Pardubice 2010, Univerzita Pardubice. Disertační práce
4. Bc. Vojtěch Barták, Vliv pryžové tiskové formy na přenos barvy ve flexotisku. Pardubice 2007. Univerzita Pardubice, Diplomová práce
5. Bc. Petr Regal, Povrchové úpravy pryžových válců pro flexotisk. Pardubice 2007. Univerzita Pardubice, Diplomová práce
6. Svět tisku, článek 7-8/2008-59
7. Ligum spol. s.r.o. Jablonec nad Nisou, Ligum.cz (online)
8. Nezdařilíková Matina, Metrologická confirmace měřidla. Brno 2011, Vysoké učení technické v Brně. Bakalářská práce (https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=41432)
9. Bc. Michal Martinek, Vliv řezných podmínek na kvalitu povrchu obrobené plochy u CNC frézování, Zlín 2012. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Diplomová práce (http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/23044/martinek_2012_dp.pdf?sequence=1)
10. Bc. Jakub Taibr, Vliv vlastností flexotiskové barvy na účinnost přenosu z pryžového válce. Pardubice 2008. Univerzita Pardubice, Diplomová práce
11. Michal Martinek, Měření tvrdosti polymerů. Zlín 2010, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Bakalářská práce. (https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/11092/martinek_2010_bp.pdf?sequence=1)
12. Bc. Robert Dvořák, Pardubice 2007. Diplomová práce, Univerzita Pardubice
13. Lukáš Úlehla, Stárnutí a bobtnání flexotiskových pryžových forem. Pardubice 2011, Univerzita Pardubice, Bakalářská práce
14. Hylan.cz (<http://www.hyhlan.cz/skladovani.html>)
15. Rubena.cz (<https://eshop.rubena.cz/skladovani-vyroby-z-pryze/t-620/>)
16. Gravitech s.r.o., Vyškov, gravitech.cz (online)
17. Online http://www.svettisku.cz/buxus/generate_page.php?page_id=1960
18. Svět tisku, Flexotisk technologie současnosti (http://www.svettisku.cz/buxus/generate_page.php?page_id=2542)
19. Svět tisku, článek 7-m8/2008
20. Svět tisku, článek Laserové gravírování flexosleevu
21. Svět tisku, článek 06/2007-46. Přímé gravírování flexotiskových forem
22. Revue plus, článek Chcete být in? Zhotovujte formy ekologick: laserem
23. Komerční prezentace, Gravitech gravíruje sleevey od Boetcheru „na klíč“
24. Sochor V., Lasery a koherentní svazky, 1990 (Knihovna Univerzity Pardubice)
25. Online <http://www.fyzika007.cz/fyzika-mikrosveta/laser>
26. Online <http://www.lt.cz/e-learning/laser/tem-mody-laseroveho-paprsku>
27. Ing. Vojtěch Barták, Svět tisku, článek Budoucnost gravírovacích zařízení 4/2009 online http://www.svettisku.cz/buxus/generate_page.php?page_id=5067
28. Online <http://www.lt.cz/e-learning/laser/princip-co2-laseru>
29. Vrbová M. a kolektiv, Oborová encyklopedie Lasery a moderní optika (Knihovna Univerzity Pardubice)
30. Dohnal Miroslav, Lasery a jejich aplikace v polygrafii. Univerzita Pardubice, FCHT. (Knihovna UPCE)
31. Online <http://www.lt.cz/e-learning/laser/princip-pevnotatkovych-nd-yag-laseru-1064-nm-infra-red>
32. Online <http://www.lt.cz/e-learning/laser/princip-vlaknoveho-fiber-laseru>
33. Flexo + tief + druck, 5-2009 Laseranlagen zur Herstellung von Flexodruckformen
34. Online <http://www.vinsak.com/wp-content/uploads/2017/10/Lead-Lasers-Product-Brochure-Flexostar-Print-Master-Hybrid-2016.pdf>
35. Ing. Jiří Měřínský, Manager výroby /provozu firmy Gravitech s.r.o., konzultace
36. Online <http://chemistry.st-and.ac.uk/em/Instrumentation/JSM-5600/JSM-5600.html>

Název práce	Vypalování flexotiskových forem laserem
Autor práce	Nikola Vaculíková
Obor	Polygrafie
Rok obhajoby	2018
Vedoucí práce	Ing. Jiří Hejduk, Ph.D.
Anotace	Porovnání kvality vypálení YAG vláknovým laserem a CO ₂ laserem a porovnání reakce elastomerních návleků na jednotlivé lasery
Klíčová slova	Sleeve, laser, elastomer, flexotisková forma