

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2018

**KAREL
BAUER**



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Bauer** Jméno: **Karel** Osobní číslo: **439126**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Teoretický základ strojírenského inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:
Využití laseru při výrobě vyřezávaných pohlednic

Název bakalářské práce anglicky:
Laser cut postcards


Pokyny pro vypracování:
1. Technologie zpracování papíru při vyřezávání, vysekávání složitých tvarů
2. Porovnání technologických možností laseru a vysekávání
3. Navržení trajektorií pro řezání laserem, praktická výroba vzorků

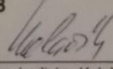
Seznam doporučené literatury:
dle vedoucího BP

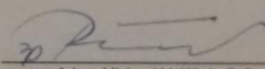
Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:
Ing. Petr Vondrouš, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **18.04.2018** Termín odevzdání bakalářské práce: **10.08.2018**
Platnost zadání bakalářské práce: **10.08.2018**


Ing. Petr Vondrouš, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

3.5.2018
Datum převzetí zadání

Bauer
Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Využití laseru při výrobě vyřezávaných pohlednic** zpracoval samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 30.5.2018

..... Karel Bauer

Karel Bauer

Poděkování

Děkuji panu **Ing. Petrovi Vondroušovi Ph.D., IWE** za jeho užitečné rady a vstřícný přístup při zpracování bakalářské práce. Děkuji své rodině za neustálou podporu ve studiu. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Jiřímu Duškovi, Jakubovi Šindelářovi a Zdeňkovi Šindelářovi za jejich čas, poskytnuté informace a pomoc při výrobě.

**VYUŽITÍ LASERU PŘI VÝROBĚ VYŘEZÁVANÝCH
POHLEDNIC**

Anotace

V rámci této bakalářské práce je formou literární rešerše popsána problematika technologie zpracování papíru vysekáváním a vyřezáváním. Tyto dvě technologie dělení materiálu jsou poté porovnány z několika základních hledisek a jsou tak určeny podmínky, ve kterých je výhodné použít danou technologii. Díky výsledkům porovnání je použita k praktické výrobě pouze technologie vyřezávání laserem. Touto metodou je vyrobena 3D papírová pohlednice, která využívá předností technologie laseru a je svým vzhledem na českém trhu inovativní.

Klíčová slova:

Laser, Vyřezávání, Vysekávání, Pohlednice

Summary

The bachelor thesis describes paper cutting technologies, aiming on possibility of cut postcard production. Laser cutting and die cutting technologies are described and compared from multiple views. In practical part innovative 3D postcards was designed and technology of laser cutting was used to manufacture it.

Key words:

Laser, Cutworking, Cutting, Postcard

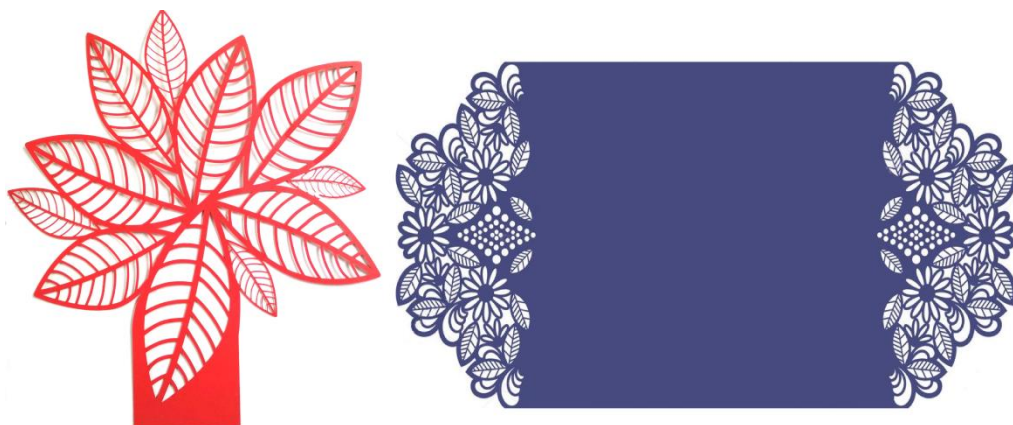
Obsah

1. Úvod	4
2. Technologie zpracování papíru při vyřezávání, vysekávání složitých tvarů	5
2.1. Zpracování papíru a jeho důvody	5
2.2. Výběr technologie.....	6
2.3. Technologie vyřezávání.....	6
2.3.1. Princip metody	7
2.3.2. Výrobní stroje	9
2.4. Technologie vysekávání.....	10
2.4.1. Princip metody	10
2.4.2. Výrobní stroje	14
3. Porovnání technologických možností vyřezávání laserem a vysekávání na lisu	17
3.1. Z hlediska velikosti	17
3.2. Z hlediska geometrie tvaru.....	17
3.3. Z hlediska sériovosti.....	18
3.4. Z hlediska potřebného zařízení	18
3.5. Z hlediska materiálu produktu	19
3.6. Z hlediska ceny	20
3.7. Z hlediska výrobního času	20
4. Praktická výroba vzorků	22
4.1. Návrh pohlednice.....	22
4.2. Použitá technologie	24
4.3. Úprava pro laser	25
4.4. Vlastní výroba	25
5. Závěr	28
6. Seznam obrázků.....	29
7. Seznam grafů.....	30
8. Seznam tabulek	31
9. Zdroje	32

1. Úvod

Papír, každý z nás ho zná, každý ho denně několikrát používá. Ráno v podobě novin, potom ve formě skript, poznámkových bloků, sešitů, malé děti jako puzzle nebo leporelo, v obchodech jako papírové krabice a obalové materiály, všechny dokumenty a důležité informace přicházejí v obálkách, dostáváme pohledy od známých, večer čteme knihy. Papír je zkrátka všude kolem nás. Právě proto jsem si ho vybral jako základní materiál mé bakalářské práce.

V práci bude provedeno srovnání technologií zpracování papíru za účelem výběru vhodné technologie pro výrobu konečného produktu. Budou popsány jejich principy a popis potřebného zařízení. Dále bude cílem vymyslet a vyrobit typ pohlednice, která je zajímavá a mohla by najít své uplatnění na trhu. Od ostatních se bude lišit svým jedinečným vzhledem a možností vyklopit část pohlednice do prostoru. Výsledný návrh bude nabídnut NP Šumava k jeho rozšíření do informačních a turistických center. Pokusím se využít nové metody, protože výroba bude kusová a nevyplatil by se klasický výrobní postup. Použitím klasického výrobního postupu nemohu dosáhnout ani potřebné složitosti tvarů. Za složité tvary považuji uzavřené i otevřené křivky v řádech milimetrů, maximálně několika centimetrů, které mohou být i nepravidelně umístěné po výrobku. Této možnosti se využívá na svatebních oznámeních a dekorativních předmětech, jak je možné vidět na Obrázku 1.



Obrázek 1: Ukázky složitých tvarů [17]

Na asijském trhu se laserové vyřezávání již běžně používá, v Evropě si své místo teprve nachází. Právě proto vidím v laserovém vyřezávání obrovský potenciál.

2. Technologie zpracování papíru při vyřezávání, vysekávání složitých tvarů

2.1. Zpracování papíru a jeho důvody

Papír je jedna ze základních komodit, kterou známe již od středověku. Výrobu papíru vynalezli staří Číňané už ve 3 tisíciletí před n. l. Do Evropy se papír dostal díky Arabům a následně se rozšířil do všech zemí. Postupem času začal vytlačovat pergamen, který byl pro stále se rozrůstající potřeby drahý. [1]

S rozšiřováním použití papíru se samozřejmě začalo rozvíjet i samotné zpracování papíru a docházelo k postupnému vylepšování technologií. Jako hlavní materiál pro výrobu papíru dříve sloužily bavlna nebo konopí, postupem času však byly nahrazeny buničinou vyrobenou ze dřeva. Ta obsahuje molekuly celulózy, které dohromady tvoří vlákna. Zhutněním a vysušením vláken dostáváme konečnou fázi procesu – papír. [1, 2]

Je nutné definovat, co je papír a jaké jsou jeho vlastnosti. Za papír považujeme tenkou hladkou vrstvu, která vznikla zhutněním přírodního vlákna (nejčastěji buničiny), s gramáží 7 – 150 g/m². Papírový karton má gramáž zhruba od 130 g/m² – 600 g/m², lepenka od 600 g/m² víc. [4]

Existuje mnoho druhů papírů, lepenek a kartonů, které vznikly za účelem dosáhnout specifických vlastností. Není možné, aby byly puzzle ze stejného papíru jako noviny. Mezi sebou se tak liší v barvách, gramážích, tloušťkách, velikostech archů, povrchové úpravě, hladkosti, lesku, struktuře, ale například i ve směru vláken papíru. [14]

Ale proč se vlastně papír využívá i v dnešní době, kdy vše kolem nás řídí počítače? Odpověď je jednoduchá. Papír je levný, snadno vyrobitelný a zpracovatelný a jeho vlákno lze recyklovat 6 – 7 krát, což je velmi ekologické. A na ekologii se dnes klade velký důraz. Je však jasné, že kvalita vyrobeného papíru klesá s počtem recyklačních operací. Ne pro všechny účely je potřebné mít papír nejvyšší kvality s nejlepšími vlastnostmi. Pro produkty, kde není estetická stránka důležitá, se využívá kvalitativně horších papírů. Ty při výrobě nevznikají zhutněním samotné buničiny, ale přidává se recyklát. Ten vzniká rozmočením a rozemletím recyklovaného papíru, který se sbírá do modrých kontejnerů. Zde je potřeba zmínit, že Česká republika je na špičce v třídění papíru. Vytřídí se téměř 900 tisíc tun papíru ročně a tím se ušetří 1 800 000 tun dřeva a 9×10^{10} litrů vody za rok. [3]

Ač se však jedná o papír, který je již recyklovaný po šesté nebo o papír, který je vyroben poprvé, je důležité ho kvalitně zpracovat. Využívají se různé technologie

zpracování papíru, jejich kombinace, předúpravy, aby byl výsledek co nejlepší a souhlasil s požadavky výroby. Samozřejmě, že i na strojích a operacích v papírenském průmyslu je snaha dojít k co největší produktivitě. Postupy technologických operací, s porovnáním s druhou polovinou minulého století, zůstaly povětšinou stejné, změnily se však stroje. Do výroby se dostala automatizace a počítačové řízení, tím se celá výroba zpřesnila, zkvalitnila a zrychlila. [6]

Mezi základní technologie zpracování papíru patří hlazení papíru, primární a sekundární tvarování, spojování papíru, potiskování, vyřezání, drážkování, rýhování, vysekávání, vylupování, zušlechťování papíru. [1, 2]

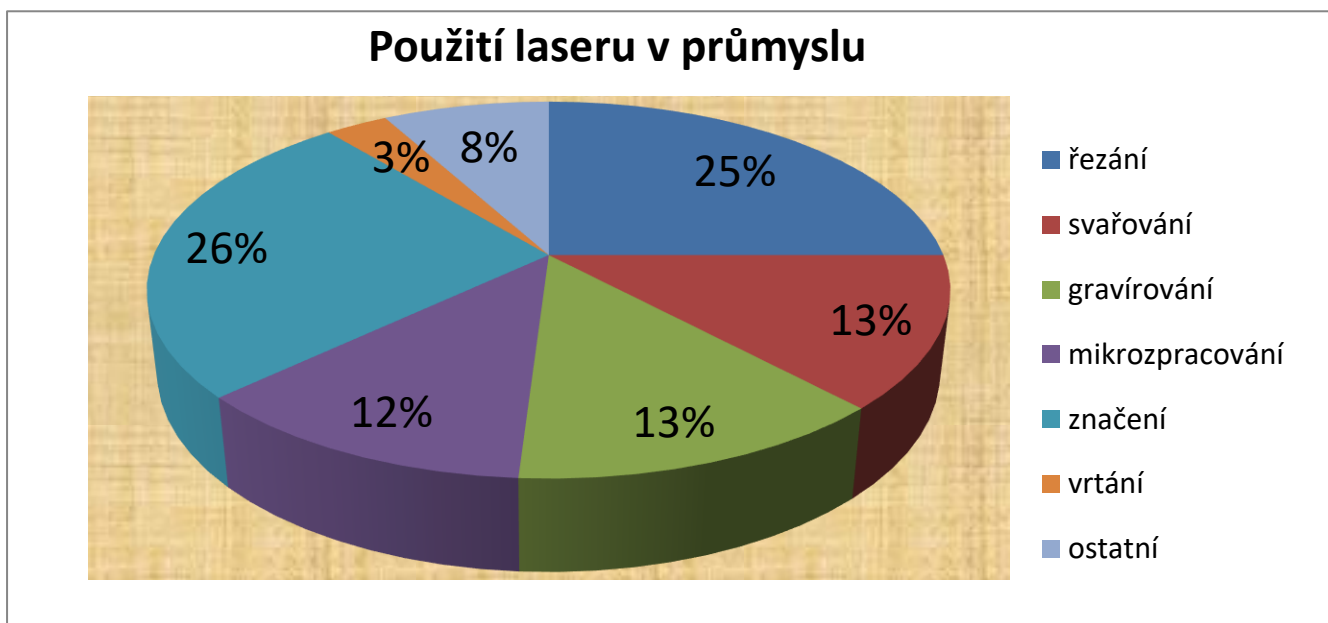
2.2. Výběr technologie

V případě výroby 3D papírové pohlednice nebudeme používat všechny technologie, ale pouze některé z nich. Jelikož výsledný tvar je uzavřený, oblast možných technologií se tím zásadně zmenší. Další potřebnou vlastností je schopnost technologie vyrobit tvarově složitější křivky. Přímé čáry budou zapotřebí pouze na okrajích pohlednice. Technologie, které splňují parametry a lze je tedy použít k výrobě, jsou vysekávání a vyřezávání. Tyto dvě jsou také poměrně rozšířené i v České republice. Vysekávání probíhá vnikáním raznice do materiálu, celý tvar je tedy vyroben jednou akcí lisu, vyřezávání laserem postupuje po trajektoriích a vyřezává postupně, to je základní rozdíl mezi zmíněnými technologiemi. Firem zabývajících se vyřezáváním je v ČR několik stovek. U vysekávání se dá hovořit o přibližně stejném čísle, protože každá tiskárna má většinou svojí vysekávací část. Pokud bychom hovořili o místech spojených s výrobou raznic neboli planžetárnách, těch větších je v celé ČR pouze 5 - 6.

2.3. Technologie vyřezávání

Technologie vyřezávání je jedna z nejzákladnějších operací na úpravu papíru, jejímž výsledkem je produkt, který vzniká postupným odřezáváním od základního materiálu. Existují různé druhy vyřezávání, které vznikaly postupem času a vývojem nových technologií. Pro své unikátní vlastnosti mají ale tyto technologie často jednostranné využití. Například jedním druhem vyřezávání je oscilační nůž. Oscilace vzniká prouděním vzduchu a frekvence je několik tisíc zdvihů za minutu. Právě proto se oscilační nůž používá na řezání pěnových materiálů a vrstveného textilu a tkanin v textilním průmyslu. Dalším druhem je vyřezávací plotr. Ten umožňuje vyrábět nápisy, šablony, reklamní grafiku a další dekorativní předměty. Často tak bývá spojen s výrobou a řezáním nažehlovacích materiálů a folií. Právě do nich plotr vyřeže požadovaný tvar a lze tak jednoduše vyrobit šablonu, která se poté použije. Nejuniverzálnějším druhem vyřezávacích strojů je laser.

Laser obecně se využívá v lékařství, vojenství, elektrotechnice, ale samozřejmě největší podíl výkonných laserů má průmysl, kde výrazně zjednodušil a zefektivnil výrobu. Procentuální využití laseru v průmyslu je patrné na Grafu 1.



Graf 1: Použití laseru v průmyslu [12]

Jak je patrné z grafu, většina operací s laserem v průmyslu se zabývá dělením a spojováním materiálu nebo jeho značením. Pro zrychlení výroby a nasycení trhu se vyrábí lasery primárně určené jen pro určitou technologickou operaci. Může se tak zjednodušit ovládací software, obsluha není tak složitá a celý proces se zrychluje. To samozřejmě není možné ve všech případech, proto se vyrábí i víceúčelové lasery pro rozdílné využití.

Existují různé druhy laserů, mohou být jak pevnolátkové (Nd:YAG), polovodičové, tak plynové. Pro vyřezávání papíru, plastu nebo oceli se využívá nejčastěji používaný typ - CO₂ laser. Dále se v práci budu zabývat pouze tímto typem laseru. [7, 8]

2.3.1. Princip metody

Technologie vyřezávání papíru CO₂ laserem je poměrně nová, ale v praxi již hojně zastoupená. Byl vynalezen indickým fyzikem C. Kumar N. Patelem v roce 1964. Jako aktivní prostředí se používá směs plynů obsahující CO₂. Obvykle je aktivní prostředí tvořeno 20 % CO₂, 10-20 % N₂, malým procentem vodíku nebo xenonu a zbytek směsi tvoří helium. Pro správnou funkci je důležitý CO₂, ostatní plyny jsou přítomny z důvodu zlepšení podmínek vzniku inverzní populace.

Vznik paprsku začíná u zdroje energie, který může být vyvolán buď radio-frekvenčně (RF) nebo elektrickým výbojem. To vybudí (excituje) atomy do vyšších energetických hladin. Při sestupu přebytečnou energii vyzáří a excitují tak další, tím dochází k stimulované emisi fotonů. Jelikož aktivní prostředí je umístěno v rezonátoru, což je soustava zrcadel, z nichž jedno je polopropustné a druhé 100 % odrazné, vyzářená energie opětovně prochází aktivním prostředím a excituje tak další atomy. Laserový svazek vycházející z optického rezonátoru má veliké přednosti. Předně je svazek usměrněný, kdy fotony tvoří jednotlivý světelný svazek s minimálním rozptylem, dále je monochromatický, což způsobuje polopropustné zrcadlo, které propustí jenom určitou vlnovou délku a díky tomu je paprsek jednobarevný. Třetí nespornou výhodou je koherentnost, která způsobuje, že kmitání je synchronní v čase i prostoru. Tyto vlastnosti zaručují stálost světelného paprsku, tak potřebnou pro praktické použití. CO₂ laser generuje nejčastěji záření o vlnové délce 10,6 μm. Pokud je potřeba záření dělit, využívá se optického hranolu. [8]

Účinnost CO₂ laseru se blíží 20 % a jedná se o jeden z nejvýkonnějších laserů na světě. Účinnost je vzhledem ke složitosti zařízení poměrně vysoká, ale i přesto zde vzniká velké množství zbytkové energie, která se přemění na teplo, které je nutné odvádět. V opačném případě by se laser přehříval a mohly by vzniknout problémy při výrobě a závady na stroji.

Nevýhodou CO₂ laseru je vedení laserového paprsku pouze pomocí zrcátek, kvůli vlnové délce 10,6 μm není možné vedení optickým vláknem. Zrcátka jsou rozmístěna tak, aby jejich natáčením docházelo k vychylování v osách x a y. Díky tomuto natáčení se může laser plynule vektorově pohybovat po celé ploše. Za soustavou zrcátek je optika, která soustřeďuje laserový paprsek do ohniska. Právě změnou optiky vyvoláme změny v tloušťkách čar a vzdálenosti mezi další čarou. Tento princip se nazývá Steered Beam Lasers a využívá zaostření paprsku přes optiku v ohnisku, tím pádem není potřeba tak vysokých výkonů laseru. Výhodou tohoto principu je velmi kvalitní značení a vysoká rychlost a přesnost laseru. [8]

Kvalita laserového paprsku závisí přímo úměrně na kvalitě laserového zdroje, na způsobu vytvořené rezonanční dutiny a na dokonalosti a křivosti zrcátek. Kvalitní lasery mají rezonanční obvod v hliníkovém monobloku, který lépe odvádí přebytečné teplo, než skleněné trubice, které používají výrobci z Asie. [8, 10]

Při výrobě určitého produktu je hlavním prvkem materiál, ze kterého má být daný produkt vyroben. Podle materiálu a velikosti se vybírá typ laseru. K určitému druhu materiálu se potom přiřazuje i potřebný výkon pro vyřezávání. Například při výrobě

samolepky se výkon se vypočítává tak, aby nepropálil nosnou podložku samolepky. Není tak potřeba vyrábět výsekovou raznici, která je plně nahrazena laserem. Lze tak laserově vyřezávat i menší série nebo kusovou výrobu. [9, 10]

Samozřejmě záleží i na požadované kvalitě. Vyřezávání může probíhat do nejmenších detailů, mohou tak vznikat velmi členité až krajkové ornamenty. Při správném nastavení výkonu vzhledem k vyřezávanému materiálu se může eliminovat opálení na hranách, které je pro estetické a designové využití nežádoucí. Velmi efektivní je laserové gravírování do sendvičového materiálu. Odgravírováním horní vrstvy se zviditelní spodní vrstva, která je často jiné barvy, někdy i z jiného materiálu. Tento princip se dá použít i na odgravírování vrstvy barvy nebo laku. Sendvičové gravírování se používá také na dřevo nebo plasty, kde se odebráním povrchové vrstvy dosahuje jak změny barvy, tak i prostorovosti celého dílu. Tyto produkty jsou potom velmi zákaznický žádané, protože je nelze vyrobit klasickým výsekem. Ukázka sendvičového gravírování je názorně vidět na Obrázku 2. [10]



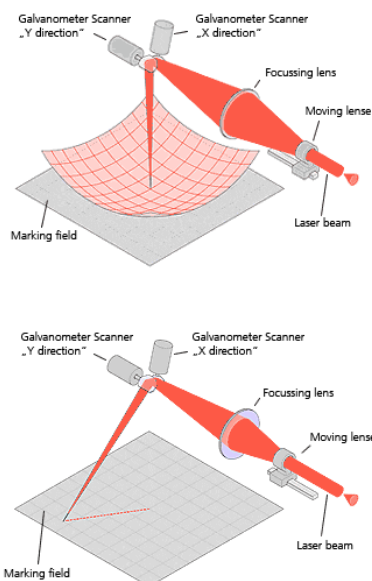
Obrázek 2: Sendvičové gravírování

2.3.2. Výrobní stroje

Laser se ve své podstatě dělí na dva typy, na laser portálový a galvolaser. Rozdíl mezi nimi je v mechanickém uspořádání součástí. U laseru portálového je nad vyřezávanou plochou řezací hlava. Pro vyříznutí jednoho bodu do pracovní plochy je zapotřebí, aby řezací hlava dojela přesně nad požadované místo a poté začala řezat.

U galvolaseru není žádná řezací hlava, ale paprsek se dostává na požadované místo natáčením zrcátek. Tento postup je mnohonásobně rychlejší, ovšem vzniká zde problém s fokusací (zaostřením). Fokusující čočka nemůže být umístěna za zrcátka, neboť natáčením zrcátek by nebyl garantovaný průchod paprsku skrz čočku a tím správné zaostření. Čočka je tedy před zrcátka. Tím je zaostřena na určitou vzdálenost, natáčením

zrcátek se ale mění vzdálenost plochy od zrcátek a tím ohnisková vzdálenost. Zaostření paprsku tak vzniká na kulové ploše, jak je patrné na Obrázku 3.



Obrázek 3: Zaostření pomocí dynamického expanderu [16]

V jeho spodní části je možné vidět jeden ze způsobů, jak lze vyřešit tento problém. Před fokusující čočku je umístěn dynamický expander. V principu je to pohybující se čočka, která svým pohybem mění rozptyl paprsku, dopadající na fokusující čočku, tím se mění i ohnisková vzdálenost a všechny body na pracovní ploše jsou zaostřeny. Galvolaser je výrobně mnohem efektivnější, ale je dražší a náročnější.

Nutností této technologie je kvalitní odvod tepla, dobrá vzduchová jednotka, dobré uskladnění a bezproblémový přísun plynu k laseru. Bez těchto základních potřeb laserové vyřezávání nikdy nebude mít požadovanou kvalitu, budou nastávat komplikace a poměr cena-kvalita-rychlost, pro kterou je laser znám, nikdy nedosáhne své optimální hodnoty. [9]

2.4. Technologie vysekávání

2.4.1. Princip metody

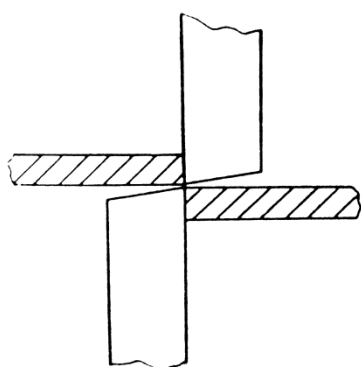
Vysekávání je jedna z nejzákladnějších pracovních operací na zpracování papíru nebo lepenky, jejímž výsledkem je produkt, který vzniká jedním vyseknutím raznice do základního materiálu. Upravuje se při ní tvar přříezu (výseku) jako polotovaru pro nejrůznější druhy papírenských výrobků nebo jejich částí. Některé stroje jsou univerzální,

takže při vysekávání může docházet i k dalším operacím typu lisování, rýhování, tváření. Vysekávané tvary mohou být různé geometrické obrazce, jako jsou čtverce, obdélníky, kruhy, ale i naprosto nesymetrické útvary. Omezení tvaru výseku je střížnými hranami vysekávacích nástrojů. V závislosti na druhu použitých nástrojů, upínaných do vysekávacích strojů, se používají rozdílné způsoby vysekávání.

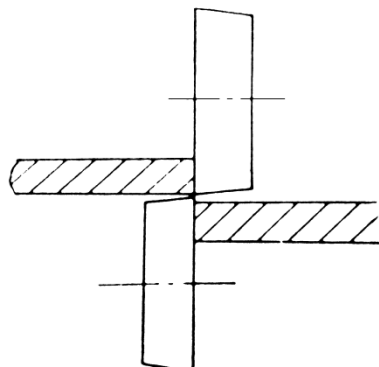
Rozdělujeme dva hlavní způsoby:

- 1) stříhem
- 2) řezem

Stříh se používá při vysekávání dvoudílnými nástroji a rotujícími noži, zatímco řez využíváme při výseku planžetovými nástroji, výsekovými a rotujícími noži. Rozdíl těchto způsobů vysekávání je v odlišné konstrukci. Jak je patrné z Obrázků 4 a 5, při stříhu na sebe působí dvě střížné hrany, zatímco při řezu nůž řeže proti podložce. [1]

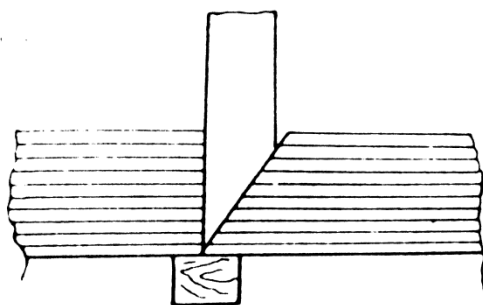


stříh dvěma noži

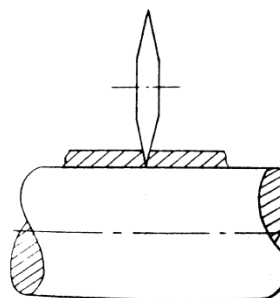


stříh dvěma rotujícími noži

Obrázek 4: Způsob vysekávání stříhem [1]



řez nožem



řez rotujícím nožem

Obrázek 5: Způsob vysekávání řezem [1]

Tyto způsoby se liší v potřebné síle pro výsek. Střížná síla se vypočte pomocí vzorce:

$$F_{stř} = l * s * \sigma \text{ [N]}$$

kde **l** je střížná délka [mm]

s je tloušťka materiálu [mm]

σ je řezný odpor materiálu [MPa]

Při vysekávání stříhem a skloněném břitu střížníku pod úhlem β se používá vzorec:

$$F_{stř} = s^2 * \cotg \beta * \sigma_s \text{ [N]}$$

kde **β** je úhel sklonu břitu horního nože [°]

s je tloušťka materiálu [mm]

σ_s je pevnost materiálu ve stříhu [MPa]

U technologie vysekávání řezem se potřebná síla pro vysekávání počítá podle vztahu:

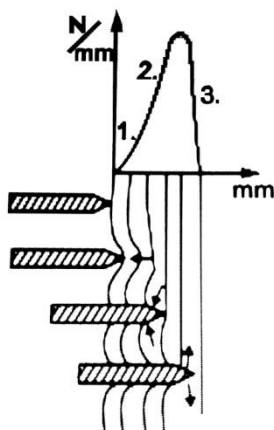
$$F = L * F_s \text{ [N]}$$

kde **F** je řezná (vysekávací) síla [N]

L je délka břitů nožů na nástroji [mm]

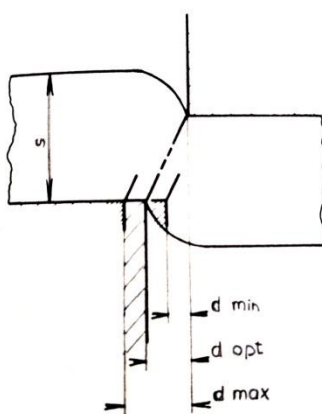
F_s je měrná řezná síla [N. mm⁻¹]

Řezná síla není při vstupu do materiálu konstantní, ale proměnlivá. Na začátku je vysekávaný materiál díky vnikajícímu noži namáhán v ohybu. Když nůž pronikne do vrstvy materiálu, odpor se zvětšuje, neboť na strany vnikajícího nože působí tření od zvětšující se tloušťky vysekávaného materiálu. Při třetí fázi síla velmi poklesne, z důvodu překonání kladeného odporu. Třetí fáze končí doražením břitu na podložku. Graficky je vidět závislost velikosti řezné síly na hloubce vniknutí nože na Obrázku 6. [2]



Obrázek 6: Vnikání nože do materiálu [1]

Pokud si představíme stříh dvěma noži, jejichž břity jsou rovnoběžné, víme, že stříh se bude uskutečňovat po celé délce střížných hran a bude tedy potřeba velká síla. Ke snížení síly se využívá stříhání šikmými noži, kde se velmi zmenší úsek záběru. Pro čistý a rovný stříh je však nutné, aby břity nožů, pracujících proti sobě, měly mezi sebou nepatrnou mezeru. Této mezeře se říká střížná vůle, znázorněna je na Obrázku 7. Je závislá na tloušťce materiálu, pohybuje se od 0,004 mm do 0,2 mm. Při správné střížné vůli a dobrém naostření a umístění nožů dostáváme kvalitní stříh. Pokud by nebyla správná velikost střížné vůle, docházelo by na spojnici směrů řezu k trhlinám, výsledkem by potom nebyl kvalitní a rovný řez. [1]



Obrázek 7: Střížná vůle [1]

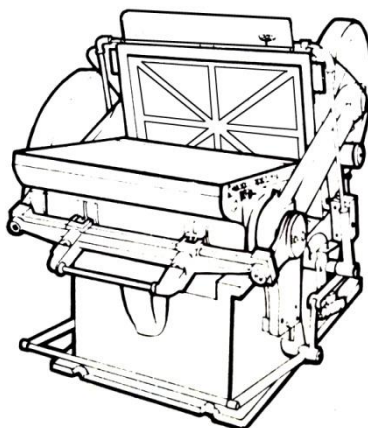
Pokud se zaměříme na rozdíl mezi vysekáváním řezem proti ploché podložce a vysekáváním řezem proti rotujícímu válci zjistíme hlavní rozdíl v potřebné síle pro vyseknutí. Síla potřebná pro vyseknutí je u rotujícího válce mnohem menší z toho důvodu,

že styková plocha mezi vysekávacím nástrojem a vysekávaným materiálem je menší. Rotující válec netlačí na celou plochu výseku, ale postupně přitlačuje vysekávaný materiál k nástroji tak rychle, jak se otáčí. Rotační vysekávání zrychluje celý proces, zmenšuje potřebné síly, ale jsou s tím také spojeny nemalé problémy. Ty souvisejí hlavně s obtížností výroby válcové vysekávací formy, neboť přesnost a kvalita, se kterou musí být vyrobena, je většinou nesrovnatelně větší, než u plošných vysekávacích nástrojů.

Také proto se nejvíce používá technologie vysekávání planžetovým nástrojem. V případě potřeby současného potisku a vysekávání (rýhování), se využívá vysekávání blokovým nástrojem. [2]

2.4.2. Výrobní stroje

Požadavky na tvarově náročné křivky byly hlavním důvodem změny i v potřebném zařízení k vysekávání. Postupně byly zdokonaleny původní stroje a vznikly ruční příklopy (Obrázek 8). Z těch se postupným vývojem dospělo až k horizontálním vysekávacím lisům, které se staly nejrozšířenějšími, názorné schéma lisu je na Obrázku 9.



Obrázek 8: Ruční příklopy lis [1]

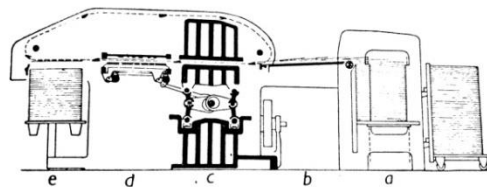
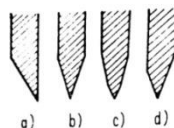


Schéma horizontálního vysekávacího lisu:
 a - nakládač, b - podávač, c - vysekávací lis, d - vylupovací stanice, e - stohovací vykládač

Obrázek 9: Horizontální vysekávací lis [1]

Způsob vysekávání planžetovými nástroji se využívá dodnes. Je velmi přínosný ve velkosériových výrobcích s malým počtem detailů a co nejjednodušší konturou. Typickým výrobkem jsou kartonové krabice, různé plakáty, reklamní produkty. Celý postup začíná u překližkové desky, často zklížené z 13 vrstev, do které se vkládají nože vyrobené z kvalitní oceli. Klížené vrstvy jsou nejčastěji březové nebo bukové, při klížení se vrstvy pootáčejí o 90°. Tloušťka překližkové desky je 18 mm. Na ni se laserem vygravíruje potřebný nákras, následuje navrtání děr potřebných pro vyřezání, samotné vyřezání pilou, přemostění a do vyřezaných drážek se poté umísťují vytvarované nože a nástroje. Pokud se využije při klížení speciální lepidlo, lze překližkovou desku vyřezat laserem a je hned připravená pro osazování nožů.

Nože dělíme podle funkce na vysekávací a rýhovací. Tloušťka nožů je shodná 0,7 mm, ale výška se liší z důvodu rozdílných hloubek, do kterých chceme, aby nůž vnikl. Vysekávací nůž má výšku 23,8 mm, rýhovací 23,3 mm. Existují i různé druhy vysekávacích a rýhovacích nožů, lišící se ve velikostech úhlů a počtu břitů, jak je patrné z Obrázku 10.



Obr. 11.11. Úhly břitů planžetových nožů: a) nůž s jednoduchým jednostranným břitem, b) nůž s dvoustranným jednoduchým břitem, c) nůž s dvoustranným dvojitým břitem, d) nůž s dvoustranným břitem s různými úhly zbrošení břitů

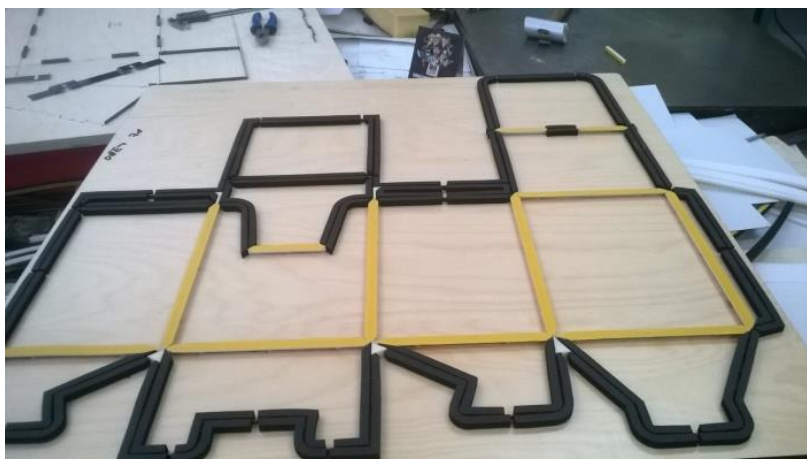
Tabulka 11.26
 Velikost úhlů břitů planžetových vysekávacích nožů

Druh nože	Úhel břitu
Nože s jednoduchým jednostranným břitem	25—35°
Nože s dvoustranným jednoduchým břitem	50—70°
Nože s dvoustranným dvojitým břitem	50—70°
Nože s dvoustranným břitem a různými úhly zbrošení břitů	50—70°

Obrázek 10: Druhy vysekávacích nožů [5]

Po nařezání nožů na správné délky, jejich vytvarování podle potřeby a zasazení do překližkové matrice, jsou na řadě další postupy výroby raznice. Pro lepší vedení nože, ale hlavně pro odtlačování vysekávaného materiálu nad vysekávací nůž, jsou po stranách nožů nalepeny pryžové vyhazovače. Ty jsou samozřejmě rozdílných výšek a jejich použití se dělí podle typu nože. [2, 11]

Celková raznice, odcházející z planžetárny, která je připravena jít do výrobního procesu, je patrná na Obrázku 11. Tento obrázek byl pořízen v Ottově tiskárně s. r. o. centrum výseku Kastner a je na něm vidět kompletní raznice pro výrobu lepenkové krabice. Je zde krásně vidět, že černé pryžové vyhazovače jsou u vysekávacích nožů, žluté u rýhovacích. Výroba jedné takovéto raznice trvá přibližně 6 hodin.



Obrázek 11: Raznice ve výrobě

3. Porovnání technologických možností vyřezávání laserem a vysekávání na lisu

Rozdíly mezi technologií vyřezávání a vysekávání jsou dané už z principu odlišnosti. Každá technologie se hodí pro jiné uplatnění, pro různý počet výrobků, rozdílný materiál, ze kterého je finální produkt vyroben a zařízení, jenž je k výrobě potřeba. Tyto parametry tvoří celkovou cenu, na kterou se v každé výrobě hledí a která je enormně důležitá pro zákazníka. Je tedy nutné pokusit se najít hranice, pro jaké parametry je daná technologie efektivnější. Výsledné hranice nebudou zcela přesné, neboť budu porovnávat pouze vzorky od dvou firem zabývajících se technologií vyřezávání laserem a vysekávání na lisu a to firmami MEGAFLEX, spol. s. r. o. a CENTRUM VÝSEKU KASTNER, s. r. o.

3.1. Z hlediska velikosti

Pokud se zaměříme na vyrobiteľnosť při vysekávání, je zde jednoznačně omezující maximální a minimální velikost vyrobiteľné raznice. U méně náročných tvarů lze vyrobiť raznici minimálních rozměrů v řádech několika centimetrů čtverečních. U více tvarově náročných se minimální hranice zvětšuje k rozměru cca 5 cm x 5 cm. Samozřejmě záleží i na rozložení nožů po ploše, neboť drážka pro umístění vysekávacích nožů musí mít po stranách vůle. U větších raznic nás většinou nelimituje tvarová složitost, ale velikost překližkové matrice. Je potřeba vyřezat otvory pro nože, omezující je tedy strojová pila a velikost ramena. U klasických pil je maximální možný vyrobiteľný rozměr překližkové matrice 2000 mm x 1500 mm. V případě použití laseru je možné vyrobiť i raznici větší, problém je ovšem s jejím upnutím do razícího stroje.

U vyřezávání je limitující podmínkou velikost pracovní plochy. Standardní pracovní plocha má rozměry 1000 mm x 610 mm, existují však i lasery s rozměry 2500 mm x 2000 mm. Výrobky z těchto laserů jsou nejčastěji používány na venkovní reklamy.

3.2. Z hlediska geometrie tvaru

Dalším kritériem je otevřenost nebo uzavřenost křivek. Uzavřené tvary jsou u vysekávání složitější na výrobu. Zaprvé při vlastní výrobě je nutné vyrobiť přemostění nožů, zadruhé při vysekávání většinou menších částí se stává, že výsek zůstane v raznici. Proto se do technologického procesu zařazuje vylupování nebo se raznice upraví a za hranu nože se vytvoří malé plošky, které zabrání uchycení výseku v raznici. Samozřejmě je nutností všechny vysekávací nože správně vytvarovat a hlavně naměřit jejich délku, aby nevznikaly mezery mezi noži a tím nevyseknutá místa. Pro základní tvary existují už předpřipravené přípravky, které není potřeba vyrábět (např. díry různých velikostí,

hvězdičky) a zdatelně usnadňují a zrychlují výrobu. U otevřených tvarů není potřeba výsek vylupovat, omezující je tedy pouze tvarová složitost.

U laserového vyřezávání není tvarová složitost problém. Díky řízení softwaru, kvalitně vyrobeným strojům a celkovému využití počítačů ve výrobě, je laserové vyřezávání velmi přesné. U laserů firmy Trotec je zaručená statická opakovatelná odchylka menší než 15 μm .

3.3. Z hlediska sériovosti

Nevýhodou, které laserové vyřezávání má, je fakt, že výroba musí být prováděna po 1 kuse. Více kusů lze vyrábět za předpokladu, že se umístí vícekrát do pracovní plochy, nelze ale vyrábět více kusů najednou stohováním papíru, jak je to možné u vysekávání. Při vyřezávání více kusů zároveň by nebylo možné papíry na sebe uchytit tak, aby byly splněny podmínky pro řezání. Musel by být nastaven i vyšší výkon, který by způsoboval výraznější opálení na vrchních vrstvách. Laserový paprsek by nemohl být seřízen na určitou ohniskovou vzdálenost, protože by byla potřeba ji v průběhu měnit. Tím by se lišila i velikost a kvalita šířky řezu.

U technologie vysekávání lze využívat vysekávání do více papírů zároveň. Zvyšuje se tím produktivita výroby a zrychluje se doba výroby v poměru na jeden kus.

3.4. Z hlediska potřebného zařízení

Pokud se zaměříme na rozdíly potřebného zařízení, bez kterého nelze danou technologii úspěšně provozovat, není překvapením, že laserové vysekávání je náročnější na zařízení. U vyřezávání je kromě vlastního laseru potřeba plyn k zamezení hoření. Nejčastěji používaným plynem je dusík. Skoro nejdůležitějším a nejvíce předpisy omezeným zařízením je odsávací a vzduchová jednotka. Při řezání totiž vznikají spaliny, které musí být z pracovní plochy odváděny. Pokud je výroba uzpůsobena i na řezání plastů, dřeva nebo dokonce na gravírování skla, používá se odsávací zařízení s víceúrovňovým čištěním. To nejprve odstraňuje mechanické nečistoty, které vznikají při samotném procesu. Poté se odváděné spaliny čistí na několika typech filtrů, aby se dosáhlo co nejlepší kvality. Vyčištěný vzduch se poté pomocí ventilátorů dostává z budov ven. Kontrola a pravidelná údržba filtrů je nutností. Při řezání například překližky se totiž uvolňují pryskyřice, které mohou filtry zalepit.

U vysekávání žádné vzduchové a odsávací jednotky nejsou. Při výrobě nedochází ke vzniku škodlivin a spalin, za to je ale potřeba mnohonásobně více zařízení. Krom vysekávacího lisu, který představuje základ výroby, je většina zařízení spojena s výrobou raznice. Ta je pro vysekávání nejdůležitější součástí. Jako první se využívá plotru, na kterém se odzkouší, jestli je daná součást vyrobitelná a technologicky správně nakreslená. Tento krok je velmi důležitý, neboť eliminuje výrobu nevhodně navržené raznice. Pro výrobu vlastní raznice se využívá gravírovací laser a pila. Díky těmto strojům se vyrobí správně předpřipravená překližková matrice, do které se vkládají nože. Pro jejich správný tvar a délku a spojení nožů se využívají nůžky, zobáčkovačka, můstkovačka a ohýbačka. Zvláště při výrobě raznice je potřeba zkušeného technika na planžetárně, neboť i drobná chyba při vyřezávání a umístování nožů může způsobit neopravitelnou vadu a výroba by se musela opakovat.

3.5. Z hlediska materiálu produktu

Jak již bylo zmíněno, jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících celý proces je materiál, ze kterého bude daný produkt vyroben.

Podle materiálu se volí dostačující výkon laseru. V případě použití vyšších výkonů by mohlo docházet k nadměrnému opálení hran, v některých případech by to bylo esteticky nevyhovující, u sendvičových materiálů by zvýšený výkon prořízl obě vrstvy, což je jednoznačně nežádoucí. Zvýšil by se tak podíl zmetkovitosti.

U výseku lze změnu materiálu řešit kvalitou vysekávacích nožů, ale pouze minimálně. Při nevhodně zvoleném typu materiálu se může celá raznice zničit. Materiál je tedy důležitým vstupujícím parametrem, na který je potřeba brát ohled.

Materiálů, které je možné vyřezávat či vysekávat je celá řada, menší počet materiálů pro výrobu má vysekávání. Technologie vysekávání dokáže vyseknout všechny druhy papíru a lepenek, strojní karton do několika mm, kůži, některé druhy plastů, textil.

Oproti tomu laser se ve vyřezávání požadovaného tvaru v zásadě v ničem neliší. Zvládne to samé: plasty, kůži, papír, textil, laminát, ale dokáže vyříznout i dřevo. V čem je ale laser unikátní, je spektrum materiálů, ve kterém dokáže gravírovat, ať se jedná o akrylát, plasty, papír, kůži, textil nebo dřevo. Dokonce dokáže gravírovat i do skla nebo kamene. Některé typy laserů jsou schopny řezat a gravírovat i 3D objekty. Lze tak popisovat plastové láhve, dřevěné složené modely, krabičky z papíru nebo ze dřeva. Vyrobené produkty jsou velmi efektivní a pomalu si nacházejí své uplatnění na trhu.

Spojení tvarové složitosti spolu s kvalitou a rychlostí práce a novými materiály se ukazuje jako velmi dobrý marketingový tah.

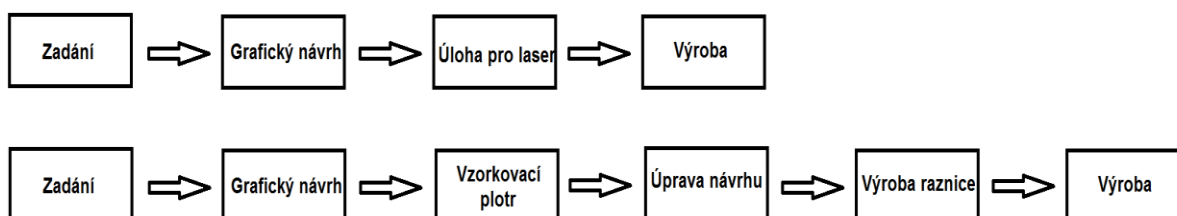
3.6. Z hlediska ceny

Nejspíše nejdůležitějším parametrem je cena. V konečné ceně musí být zahrnuty náklady na pokrytí energie, materiálu, který byl zpracován, mzdy lidí, kteří se na výrobku podíleli, provozu strojů a režie firmy. Pro jednodušší srovnání technologie vysekávání a vyřezávání budeme považovat režii firmy a náklady na pokrytí energie za stejné. Podobně na tom jsou i mzdy lidí. Zde si ale musíme uvědomit, že při vyřezávání laserem je potřeba mnohem méně osob a času stráveného přípravou, než u vysekávání. U vysekávání je potřeba započítat náklady hlavně při výrobě raznice. Metr vysekávacího nože stojí 650 Kč, pryžové vyhazovače desítky Kč za metr. Překližková deska, která tvoří základ raznice, stojí 450 Kč/m².

Hlavní náklady jsou samozřejmě za výrobní stroje. Naprosto základní laser pro vyřezávání stojí 210 000 Kč, kvalitnější laser s větší pracovní plochou, vzduchovou jednotkou a automatickým podavačem, ale stojí už téměř 5 000 000 Kč. U vysekávání jsou potřeba nůžky, zobáčkovačka a můstkovačka, které stojí shodně kolem 60 000 Kč, pila 200 000 Kč, ohýbačka 120 000 - 200 000 Kč. Samotný vysekávací lis stojí kolem 750 000 Kč. Samozřejmě vše záleží na rozměrech pracovní plochy a kvalitě výroby.

Přibližná cena se zásadně liší v závislosti na počtu kusů, u vysekávání se pro malou sériovost účtuje cena 5 Kč/cm², u vyřezávání 2,5 Kč/cm². Při nákladu více jak tisíce kusů, se ale cena v přepočtu na jeden kus u obou technologií pohybuje kolem 2 Kč.

3.7. Z hlediska výrobního času



Obrázek 12: Postup zakázky

Na Obrázku 12 je uveden celý výrobní proces zakázky pro vyřezávání (horní) a vysekávání (spodní). Výrobní čas je doba, která uplyne mezi zadáním a vlastním vyrobením produktu. Grafický návrh je první operace, která je prováděna a která rozhoduje o konečné kvalitě výrobku. Musí se určit, jakým strojem se bude vyrábět, jaké budou jeho výrobní parametry a podle toho upravovat návrh trajektorií. Pokud je požadovaná rozměrová přesnost výrobku, uvažuje se tloušťka řezu a je tedy nutné předsadit navrhovanou trajektorii o polovinu tloušťky řezu na každou stranu. U vyřezávání po grafickém návrhu následuje úloha pro laser, ve které se návrh převede do souborů kompatibilních s programem laseru. Následuje samotná výroba, která je v řádu vteřin, u náročnějších trajektorií několika minut. Celkový výrobní čas u vyřezávání se pohybuje od desítek minut po několik málo hodin v případě složité trajektorie. U vysekávání následuje po grafickém návrhu výroba nanečisto na vzorkovacím plotru, v případě potřeby se návrh poté upraví. Díky těmto operacím je eliminována výroba nevyhovující raznice, která je časově nejnáročnější složkou výrobního času u vysekávání. Obvyklá doba, která uplyne od zadání k výrobku je několik hodin, u složitějších trajektorií i v řádech dnů.

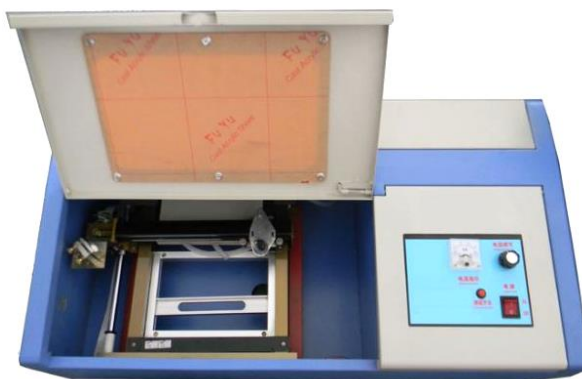
Pro přehlednost rozdílů je přiložena Tabulka 1, ve které jsou určeny hranice, které vycházejí z informací z praxe od firem MEGAFLEX, spol. s. r. o. a CENTRUM VÝSEKU KASTNER, s. r. o.

	VYSEKÁVÁNÍ	VYŘEZÁVÁNÍ
velikost MAX	2000 mm x 1500 mm	2500 mm x 2000 mm
velikost MIN	50 mm x 50 mm	0,5 mm x 0,5 mm
geometrie	otevřená, uzavřená	otevřená, uzavřená
sériovost	výroba po více kusech	výroba po 1 kuse
potřebná zařízení	lis, stroje na výrobu raznice	laser, vzduchová jednotka
materiál	papír, plast, kůže	papír, plast, kůže, dřevo, sklo, kámen
cena	5 Kč/cm ²	2,5 Kč/cm ²
výrobní čas	hodiny až dny	minuty až hodiny

Tabulka 1: Výsledky porovnání

4. Praktická výroba vzorků

Praktická výroba vzorků měla probíhat na pracovišti ČVUT v Praze, Fakulty strojní, Ústavu strojírenské technologie. Cílem bylo vytvoření 3D papírové pohlednice, vyřezávané laserem. K dispozici byl CO₂ laser R2010, jenž je vidět na Obrázku 13, s programem MoshiDraw 2013, který ale se svým maximálním výkonem 20 W a maximální funkční oblastí 100 mm x 200 mm nebyl dostačující, proto byla oslovena firma MEGAFLEX spol. s. r. o.



Obrázek 13: CO₂ laser R2010 [13]

4.1. Návrh pohlednice

Prvním úkolem bylo zvolit si celkový koncept pohlednice. Byl zvolen otevírací typ pohlednice, který ve složeném stavu bude velikosti A6. Mezi složené části je uchycen samostatný papír odlišné barvy, který pohlednici dodává netradiční vzhled a umožňuje její funkčnost, neboť na skrytou stranu tohoto papíru je možné psát vzkazy, které nebudou nijak rušit viditelnou část samotného pohledu. Volný papír je uchycený přes prořezy do základního papíru, zaprvé aby bylo eliminováno vlepování a znehodnocení pohlednice, zadruhé aby byl maximálně využit laser.

Dalším úkolem bylo zvolit tvar, jenž bude pohled mít. Nad tímto problémem proběhla dlouhá diskuze. Vlastní tvar musel být poměrně složitý, aby bylo evidentní, že jiným způsobem než laserovým vyřezáváním tento pohled nelze vyrobit. Pro zachování tuhosti a celistvosti celého pohledu byl samotný tvar spojen s okrajem. Aby se jednalo o velmi originální a atraktivní vzhled, musely být splněny i zásady po estetické stránce.

Vzhled pohlednice je totiž to jediné, co rozhoduje o úspěchu či neúspěchu. O tom, zda si člověk danou věc koupí nebo ne, má jasno po prvních několika vteřinách. Proto jako hlavní motiv byl vybrán objekt velmi charakteristický, svou siluetou nezaměnitelný.

Z důvodu další možnosti využití této pohlednice pro turistické a informativní účely na Šumavě byla jako hlavní motiv zvolena rozhledna Poledník patrná na Obrázku 14.



Obrázek 14: Rozhledna Poledník

Tato rozhledna se tyčí na stejnojmenném kopci o nadmořské výšce 1315 metrů nad mořem a byla vybudována v 60. a 70. letech 20. století. Její prvotní účel nebyl poskytovat turistům výhledy na všechny nejvyšší hory Šumavy a příležitostně na Alpy, ale zaznamenávat radiové odposlechy a elektronicky kontrolovat státní hranice. Teprve až po roce 1989 byl vojenský prostor kolem Poledníku zrušen a v roce 1998 mohla být slavnostně otevřena rozhledna pro turisty.

Motiv byl tedy vybrán, dalším postupným cílem bylo vytvoření vzoru, na kterém je možnost úpravy a doladění detailů. Ten byl vytvořen pouze ručním vystříháním a je vidět na Obrázku 15. Nad celkovým návrhem proběhla kritická debata. Na tomto prototypu byly zjištěny nedokonalosti hlavně v zasunující části. Další detaily byly vylepšeny na prořezech v zadní části, jenž drží samostatný papír.



Obrázek 15: Návrh pohlednice

4.2. Použitá technologie

Jak vyšlo z výsledků porovnání technologie vyřezávání laserem a vysekávání na lisu, pro případ této poměrně tvarově složité pohlednice, která bude navíc vyrobena v jednotkách kusů, se více hodí laserové vyřezávání. Pokud by byla pohlednice vyráběna vysekáváním, byla by výsledná cena v přepočtu na kus dražší. I z tohoto hlediska bylo efektivnější vyrobit pohlednici pomocí CO₂ laseru.

Pro kvalitní zpracování byl použit laser od rakouské firmy Trotec Speedy 400, který je na Obrázku 16. Tento stroj o maximálním výkonu 120 W a pracovní plochou 1000 mm x 610 mm se řadí mezi světovou špičku v tomto odvětví. Umí nejen řezat, gravírovat a značkovat, ale poradí si s rozdílnými materiály od kůže, papíru, přes plasty, textil, dřevo, až po sklo a kámen. [15]

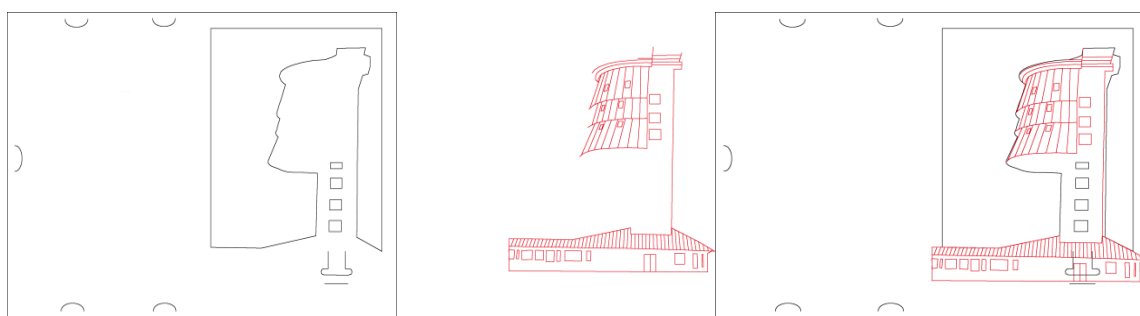


Obrázek 16: Laser Speedy 400

Tento laser má také další speciální vlastnost oproti ostatním. V jeho příslušenství je vzduchová jednotka, která všechen vzduch z komory před řezáním vysaje, papír se přisaje na řezací rošt a při celém procesu je zabráněno pohybu papíru po pracovní ploše. Je také zamezeno pohybu malých vyřezaných částí do oblasti řezu a způsobení tak znehodnocení celého výrobku. Toto příslušenství je však velmi nákladné a mohou si ho dovolit jenom ti největší provozovatelé. Nutno však podotknout, že se tím velmi zkvalitní a zrychlí celá výroba a vyřezávané produkty jsou vyrobeny ve vyšší kvalitě.

4.3. Úprava pro laser

Po opravení nedostatků na návrhu nic nebránilo pro převádění křivek a čar do formátu, který lze vkládat do programu laseru. Křivky byly převáděny v programu GIMP, který umožňuje i vícevrstvé hladiny, zřejmě je to z Obrázku 17. Lze tak velmi jednoduše oddělovat křivky na řezání a gravírování, odlišené jsou i barevně, což usnadňovalo představivost při vlastním vytváření.



Obrázek 17: a) Řezací vrstva

b) Gravírovací vrstva

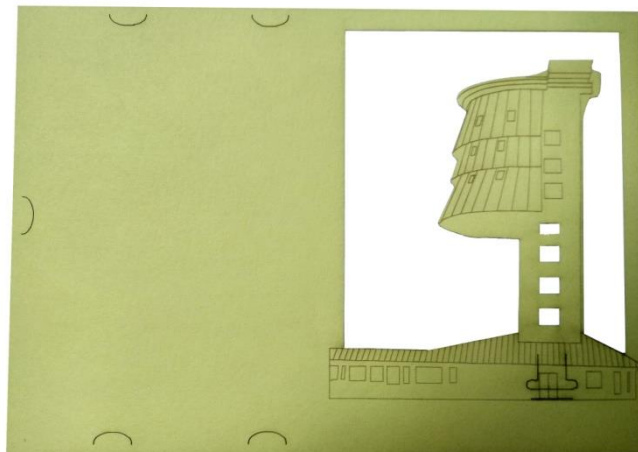
c) Obě vrstvy

Tloušťka vektoru v gravírovací vrstvě byla 0,2 mm a byla označena červenou barvou, řezací vrstva byla černá s tloušťkou 0,001 mm. Tyto parametry byly předdefinované i v laseru, na kterém se pohlednice vyřezávala. Bylo tak možno velmi jednoduše sjednotit parametry řezání a usnadnila a zrychlila se tím výroba. Reálná šířka řezu se pohybovala od 0,1 mm do 0,2 mm v závislosti na použitém materiálu a optice.

4.4. Vlastní výroba

Při vlastní výrobě byly na vnějších okrajích vyřezané siluety rozhledny vidět „zuby“. Hrana řezu nebyla rovná, ale odstupňovaná. Tato vada nebyla způsobena nedokonalostí výroby, ale přenosem grafiky a její kvalitou. Křivky, které ohraničovaly požadovaný obrys,

se při ukládání rozložily na pixely a vytvořily tak kostičky, které na konečném produktu tvoří „zuby“. Tato nedokonalost by se dala eliminovat lepším programem pro tvoření křivek, popřípadě rozostřením řezu. To však nebylo prvotní náplní této práce, tyto nedokonalosti by se vylepšovaly až v případě sériovější výroby. Jak je vidět z Obrázkem 18, vyrobená pohlednice celkem detailně splňuje požadavky zadání.



Obrázek 18: Vyřezaná pohlednice

Až v průběhu výroby se zrodil plán na vytvoření druhého typu pohlednice, a to laserem vyřezávané do předtištěného podkladu. Tento způsob ještě více zviditelňuje výhody laseru oproti vysekávání. Řez zde musí být na přesně daném místě, čehož lze dosáhnout tím, že se určí startovací bod, ve kterém paprsek začíná. Druhý způsob, jak lze vyřešit řezání na natištěnou plochu, je při samotném tisku natisknout speciální znak, na který když laser najede, spustí program vyřezávání. Tento způsob se využívá hlavně při větším počtu a větších sériích, kdy se časově nevyplatí ručně zaměřovat počáteční bod. Pro případ této pohlednice využíváme první metodu, kdy se určuje počáteční bod. U vysekávání by se musely vyrobit dorazy na přesně určeném místě, aby řez souhlasil s hranami v obrázku. Je to velmi pracné a u některých případů i nemožné, proto se vysekávání do natištěných podkladů využívá minimálně.

Druhá pohlednice bude se stejným motivem, pouze na ní nebude prováděno gravírování. Tato operace celkově by nebyla přínosná, neboť všechny potřebné křivky a hrany jsou natištěné. Bude se tedy provádět jenom vyřezávání, a to na stejném stroji, stejnými parametry a ze stejného materiálu jako při výrobě prvního typu. Papír na základní část pohlednice byl bílý a krémový, aby se mohla porovnávat i barevná variabilita. Plošná hmotnost papíru neboli gramáž byla zvolena 180 g/m², díky které je zajištěna potřebná tuhost papíru. Výkon byl nastaven na 30 % běžného výkonu, tím pádem řezací výkon laseru byl 20 W. Celkový čas vyřezávané úlohy byl 20 vteřin. Pro různé možnosti

a následné barevné kombinace byl vyroben druhý typ pohlednice, jak v černobílém, tak i v barevném provedení. To je patrné i z Obrázku 19.



Obrázek 19: Barevný a černobílý typ

Jedinou chybějící složkou pohlednice byla vložka, která zároveň slouží jako pozadí při zavření pohlednice a plocha, na kterou se může napsat vzkaz pro příjemce. Tato vložka byla vyrobena ze čtvrtky o plošné hmotnosti 300 g/m², barevně využívající různé odstíny modré. V horní části je umístěn nápis: „Krásný pozdrav ze Šumavy“, který může sloužit jako začátek vzkazu. Rozměry této vložky jsou 138 mm x 95 mm. Její uchycení do pohlednice bylo zajištěno přes 5 prořezů do tvaru oblouku, které zabrání pohybu, ale zároveň v případě potřeby umožní její snadné vyjmutí. Hotová vložka v různých odstínech modré je zobrazena na Obrázku 20.



Obrázek 20: Vložka pohlednice

5. Závěr

V této práci byly podrobně popsány principy a potřebná zařízení pro dvě technologie zpracování papíru, vyřezávání a vysekávání. Technologie vyřezávání laserem a vysekávání lisem byly poté vzájemně porovnány z několika základních hledisek, výsledkem bylo přibližné určení oblasti výhodnějšího použití dané technologie. Hranice oblastí nejsou ale jednoznačně určitelné v důsledku vyhodnocování oblastí pouze ze dvou zdrojů, pro lepší vyhodnocení by bylo potřeba zajistit informace od většího počtu výrobců pracujících s danou technologií. Pro samotné rozhodnutí volby technologie byly tyto zjištěné hranice naprosto dostačující. Dále byl vypracován návrh pohlednice, která měla být vyrobena zmíněnými technologiemi. Jak práce ukázala, technologie vysekávání není v tomto případě vhodná, jak z cenového hlediska, tak i z hlediska časového a možností výroby. Již samotný tvar je velmi složitý a díky uzavřeným křivkám není technologicky možné využít vysekávání na lisu. Výroba tak byla provedena pouze technologií vyřezávání na laseru.

Konečným produktem mé bakalářské práce je tedy sada tří papírových pohlednic, vyrobených technologií laserového vyřezávání, které jsou patrné na Obrázku 21.



Obrázek 21: Výsledná sada pohlednic

6. Seznam obrázků

Obrázek 1: Ukázky složitých tvarů [17].....	4
Obrázek 2: Sendvičové gravírování	9
Obrázek 3: Zaostrění pomocí dynamického expanderu [16].....	10
Obrázek 4: Způsob vysekávání stříhem [1]	11
Obrázek 5: Způsob vysekávání řezem [1]	11
Obrázek 6: Vnikání nože do materiálu [1].....	13
Obrázek 7: Střížná vůle [1]	13
Obrázek 8: Ruční příklopový lis [1].....	14
Obrázek 9: Horizontální vysekávací lis [1].....	15
Obrázek 10: Druhy vysekávacích nožů [5]	15
Obrázek 11: Raznice ve výrobě	16
Obrázek 12: Postup zakázky.....	20
Obrázek 13: CO2 laser R2010 [13].....	22
Obrázek 14: Rozhledna Poledník.....	23
Obrázek 15: Návrh pohlednice	24
Obrázek 16: Laser Speedy 400.....	24
Obrázek 17: a) Řezací vrstva b) Gravírovací vrstva c) Obě vrstvy.....	25
Obrázek 18: Vyřezaná pohlednice	26
Obrázek 19: Barevný a černobílý typ	27
Obrázek 20: Vložka pohlednice.....	27
Obrázek 21: Výsledná sada pohlednic	28

7. Seznam grafů

<i>Graf 2: Použití laseru v průmyslu [12]</i>	7
---	---

8. Seznam tabulek

<i>Tabulka 3: Výsledky porovnání</i>	11
--	----

9. Zdroje

- [1] MACHÁŇ, Josef, Václav METZGER a Václav RIPPL. *Zpracování papíru: pro II. ročník učebního oboru strojník s odborným zaměřením pro zpracování papíru*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1981.
- [2] ČANĚK, Bohuslav a kolektiv. *Výroba papíru: Technologie pro 4. ročník středních průmyslových škol papírenských*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966.
- [3] *Třídění odpadu* [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z:
<https://www.trideniodpadu.cz/papir>
- [4] *Jak se vyrábí karton?* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z:
<http://obaloviny.rajapack.cz/jak-se-vyrabi-karton>
- [5] HNĚTKOVSKÝ, Václav a kolektiv. *Papírenská příručka*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1983.
- [6] DOLEŽAL, Ivan. *Vysekávání hladkých lepenek* [online]. [cit. 2018-05-07].
Dostupné z:
http://www.svettisku.cz/buxus/generate_page.php?page_id=3669&buxus_svettisku=
- [7] *The Best Laser Cutters and Engravers of 2018* [online]. [cit. 2018-05-08].
Dostupné z:
<https://www.fabathome.org/best-laser-cutter-engraver/>
- [8] *Leonardo technology: Automatizace průmyslového značení* [online].
[cit. 2018-05-08]. Dostupné z:
<http://www.lt.cz/e-learning/laser/princip-co2-laseru>
- [9] *Megaflex: The Marking Company* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z:
<http://www.megaflex.cz/lasery/materialy-pro-popis-a-rezani-laserem/>
- [10] *Dataline Technology* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z:
<http://dataline.cz/>
- [11] ŠUMILOV, P.V. *Technologie papíru*. Praha: Průmyslové vydavatelství, 1952.
- [12] DOSOUDIL, Jakub. *Laserové technologie* [online]. 2013 [cit. 2018-05-08].
Dostupné z:
<http://docplayer.cz/6176536-Cz-1-07-1-1-30-01-0038.html>

[13] Čína razítko stroj dodavatelé, výrobci a Factory - levné ceny - Jinan Rapid CNC Machinery cco, Ltd. [online]. [cit.2018-04-16]. Dostupné z:
<http://cz.rapidcnc-machine.com/laser-machine/rubber-stamp-making-machine/rubber-stamp-machine.html>

[14] *Fyzikální vlastnosti papíru* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z:
<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1776>

[15] Trotec: *laser. marking cutting engraving* [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z:
<https://www.troteclaser.com/en/>

[16] *3-Achsen Ablenkeinheiten* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z:
<https://www.raylase.de/de/>

[17] *Depositphotos: Laserem řezané vzor Pozvánka na svatbu* [online]. [cit. 2018-05-25].
Dostupné z:
<https://cz.depositphotos.com/107457056/stock-illustration-laser-cut-pattern-for-invitation.html>