



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

GRAVÍROVÁNÍ LASEROVÝM PAPRSKEM

ENGRAVING WITH A LASER BEAM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vít Blabla

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Vít Blabla**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.1111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Gravírování laserovým paprskem

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Regulace energie u výrobní metody pomocí laserového paprsku umožňuje její široké využití. Výrobní stroje se vyznačují vrcholnou digitální výbavou, což umožňuje mimo jiné pružné reagování na požadavky či objednávky zákazníků. Zvláště zajímavé je toto využití ve spotřebním průmyslu, kde lze téměř bezproblémově splnit jak kusové, tak i sériové zakázky, případně i opakovaně znovu zařazované do výroby, i po delší době. Neméně je tomu i ve strojírenství, kde se mimo jiné gravírují ocelové a hliníkové materiály.

Cíle bakalářské práce:

- Charakteristika laserového paprsku.
- Podmínky a možnosti gravírování.
- Vytipování skupin výrobků vhodných pro gravírování, rozbor jejich materiálů.
- Podrobné představení konkrétních situací.
- Experimentální výroba součástí.
- Zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

BUDYNAS, Richard G. a NISBETT, Keith J. Shigleyho konstruování strojních součástí. Přeložil Martin Hartl et al. 10. vyd. Brno: VUTIUM, 2023. 1296 s. ISBN 978-80-214-5471-2.

FOREJT, Milan a PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

FREMUNT, Přemysl a PODRÁBSKÝ, Tomáš. Konstrukční oceli. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 1996. 262 s. ISBN 80-85867-95-8.

IMAI, Masaaki. Kaizen. 1. vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2004. 272 s. ISBN 80-251-0461-3.

LEINVEBER, Jan a VÁVRA, Pavel. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.

MAŇKOVÁ, Ildikó. Progresívne technológie (Advanced methods of material removal). 1. vyd. Košice: Viena, 2000. 276 s. ISBN 80-7099-430-4.

PERNIKÁŘ, Jiří a TYKAL, Miroslav. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.

PÍŠKA, Miroslav. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

PTÁČEK, Luděk. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-720-4283-1.

PTÁČEK, Luděk. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-720-4283-1.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je najít vhodnou metodu a podmínky pro značení výrobků. Jako nejvhodnější metoda byl zvolen laserový paprsek, pro svou rychlost, přesnost a možnost automatizace. Pro experimentální část práce bylo zvoleno celkem šest vzorků (korozivzdorná ocel, pozinkovaná ocel, hliníková slitina, dubová překližka, matné plexisklo a průhledné plexisklo). Pro kovové vzorky byl vybrán jako gravírovací stroj vláknový laser a pro nekovové materiály byl zvolen CO₂. Na vzorky byl laserem vypálen vzorkovník, vždy dle možností samotného stroje, aby bylo možné jednotlivé skupiny materiálů srovnat. V závěru práce byly vytipovány nejvhodnější podmínky pro každý materiál na daném přístroji.

Klíčová slova

laser, CNC, gravírování, CO₂, vláknový laser

ABSTRACT

The aim of the bachelors thesis is to find a suitable method for product marking and also appropriate conditions. Laser beam engraving was chosen as the most suitable due to its speed, precision and potential for automation. For experimental part of the thesis was selected total of six samples (stainless steel, galvanized steel, aluminium alloy, oak plywood, matte plexiglass and transparent plexiglass). For metal samples engraving was used fiber laser and for non metallic samples was used CO₂ laser. On each sample was engraved grid pattern in order to compare different material groups. In conclusion were chosen the best marking conditions for each sample.

Keywords

laser, CNC, engraving, CO₂, fiber laser

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BLABLA, Vít. *Gravírování laserovým paprskem*. Brno, 2024. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157757>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Gravírování laserovým paprskem vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

24.5.2024, Brno

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Milanovi Kalivodovi za vynaložený čas při konzultacích, věcné připomínky a cenné rady.

Poděkování patří i Kristiánu Sálovi, který mi asistoval s přípravou a výrobou vzorků. Rád bych také poděkoval rodině za podporu při studiu.

OBSAH

Zadání práce
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Možnosti značení vzorků.....	10
2 TEORIE	13
2.1 Typy laserových zařízení.....	15
2.2 Princip gravírování	16
3 VÝROBA VZORKŮ.....	18
3.1 Volba materiálů vzorků	18
3.2 Volba strojů	20
3.3 Podmínky experimentu.....	21
4 Vyhodnocení vzorků.....	23
ZÁVĚR.....	27

Seznam použitých zdrojů
Seznam použitých symbolů a zkratk
Seznam příloh
Seznam výkresů

ÚVOD

Každý den je v praxi řešeno, jak bude popsán právě vyráběný díl. Samotné popisování má vícero důvodů, mezi nejčastější ale patří usnadnění logistiky. Díly jsou popisovány pro zvýšení přehlednosti jak ve skladových zásobách, tak v dílech, které byly odeslány zákazníkovi. Tento typ evidence se vyplácí například u reklamací, kdy je možné identifikovat konkrétní problémovou sérii výrobků a dohledat její převzetí či vyskladnění, a tak obstarat plynulost provozu, neboť není nutné kontrolovat všechny výrobky, ale jen jisté série. Naprosto identicky můžeme zavést i evidenci o kusech, které přišly od dodavatele, což, v případě špatně vyrobené série dodaných kusů, usnadňuje v evidenci najít, kam ve výrobním závodě putovaly ostatní kusy ze série a překontrolovat je dříve, než dorazí v nevyhovujícím stavu do dalších operací nebo dokonce k zákazníkovi. Pomocí dobře vedené databáze a rychlé reakce se dá snadno předejít nevyhovujícím. Dalším důvodem značení může být i legislativa, která nakazuje určité parametry na výrobku označit, například z důvodu bezpečnosti či manipulace.

Vzhledem ke stále větší poptávce na přesné a jednoznačně určité značení dílů či sestav se lidstvo v průběhu času klonilo k různým metodám značení. V historii se na značení výrobků či přepravních beden používaly různé systémy a metodiky, přičemž mezi historicky nejstarší a nejužívanější řadíme například značení křídou nebo jednoduchý vryp. Dále do kamenů ve středověku kameníci dlátem vytesávali své symboly, aby dostali za svou řádně odvedenou práci zapláceno, ale také, aby v případě špatného provedení, bylo zcela jasné, kdo nese vinu. Některá tato značení jsou čitelná na starých hradech a zámčích i dnes, takže je možné z historických pramenů možné zjistit, jaký konkrétní řemeslník na daném hradě pracoval. Postupem času, jak rostl objem zpracovaného materiálu, tak rostla i poptávka po efektivním a rychlém značení. Dalším požadavkem zákazníků byla komplexnost značky. Zatímco dříve byl dostačující piktogram či krátký nápis, v dnešní době automatizace je pro zákazníka mnohem důležitější jednotný text a schopnost poznačit výrobek elektricky čitelnými kódy jako jsou například QR nebo čárkový. Ukázka značených dílů je na Obr. 1. [1], [2]



Obr. 1 - Ukázka značení dílů [3]

1 ROZBOR ZADÁNÍ

Cílem práce je najít ideální formu značení dílů vhodnou pro strojírenský podnik. Vysokou prioritou značení je, aby bylo dobře čitelné i po delší době, řádově jednotky let a dále aby použitá metoda byla dostatečně jednoduchá pro běžného pracovníka. Jeden z faktorů při volbě metody bude také možnost automatizace pro sériovou výrobu. Dalšími faktory jsou rychlost přenastavení parametrů značení, variabilita znaků a možnost použití kódů, ale i například obrázků jako loga firem nebo bezpečnostní piktogramy a samozřejmě samotná rychlost značení.

1.1 Možnosti značení vzorků

Metod pro značení výrobků existuje celá řada, avšak ne všechny jsou zdaleka vhodné pro zadané podmínky. V rámci diskuse byly navrženy následující možnosti značení:

- Lepení štítků – jedná se o metodu, kdy na díl či sestavu nalepíme identifikační štítek, připravený na samolepícím papíru. Štítek většinou bývá připraven na speciální tiskárně. Jedná se o metodu velmi rychlou a vysoce variabilní, protože na značící štítek může být umístěn jakýkoliv text, případně symboly či kódy, jak čárové, tak QR a není problém přidat piktogramy či obrázky. Samotné lepení štítků není nijak složité a nevyžaduje žádné speciální zaučení či školení. Problémem potisknutých štítků je však životnost, která bývá často kvůli mechanickému opotřebení nízká. Čitelnost štítku může například také snížit špína či mastnota. Vzhledem k těmto okolnostem je nutné tuto metodu zahrnout. Na Obr. 2 je ukázka potištěných značících štítků.



Obr. 2 - Značení štítkem [4]

- Ražení – je metoda kdy je za použití razícího nástroje do povrchu udělána trvalá deformace v podobě požadovaného textu. Výhodou je vysoká rychlost převážně pro sériovou výrobu, kdy samotný proces ražení trvá jen jeden úder. Vzhledem k tomu, že samotný text je vyražen v samotném materiálu je zajištěna dlouhodobá čitelnost textu, na kterou nemají vliv ani špína nebo drobné mechanické otěry. Variabilita znaků je dostačující, ale bohužel pouze v případě textů. Pro speciální značky, loga nebo kódy by bylo nutné vždy nechat vyrobit speciální část nástroje, což je nevýhodné jak ekonomicky, tak časově. Z tohoto důvodu vyřazují ražení jako použitelnou metodu pro značení součástí. Na Obr. 3 je zobrazen razící nástroj. [27]



Obr. 3 - Razící nástroje [5]

- Rytí – jedná se o metodu, kdy ostrý hrot pojezdem v materiálu vytváří drážky, které tvoří text. Výhodou rytí je rychlé přenastavení rytého textu, které se většinou provádí pomocí programu v počítači, což umožňuje snadnou automatizaci. Další výhodou je dobrá odolnost vůči drobným mechanickým otěrům, což zaručuje dobrou čitelnost i po delším časovém úseku. Problém ale nastává u speciálních kódů, převážně čárové a QR, které jsou pomocí metody rytí jen těžko proveditelné a museli bychom použít doplňující metodu. Z tohoto důvodu je nutné rytí z možných metod vyřadit. Na Obr. 4 je ukázka rytí hrotem. [29]



Obr. 4 - Ukázka značení rytím [6]

- Gravírování laserem – jedná se o metodu, kdy na díl působíme paprsek laseru, čímž narušíme strukturu povrchu, kde vznikne značení odstraněním tenké vrstvy na povrchu materiálu. Výhodou je vysoká variabilita při zadávání požadovaného značení. Vygravírovat laser zvládne jak obyčejný text, tak i obrázky či různé kódy, opět jak čárové, tak i QR. Nastavení laseru také není žádným problémem, většinou probíhá pomocí počítače, což umožňuje uvažovat i možnost automatizace. Samotné gravírování je v podstatě nesmazatelné, takže značení je dobře čitelné i po delším časovém úseku. Gravírování laserovým paprskem splňuje všechny stanovené podmínky. Ukázka gravírovaných štítků je na Obr. 5.[28]



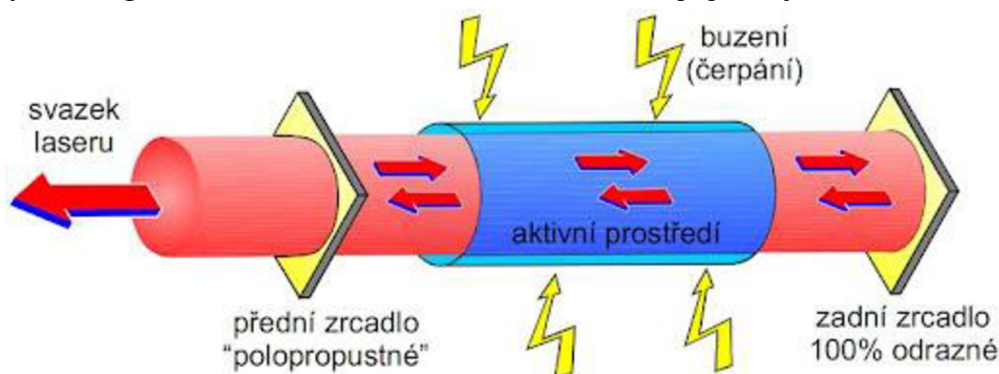
Obr. 5 - Ukázka laserového značení [7]

Ze všech metod požadavky nejvíce odpovídá zadání gravírování laserem, a proto je zvoleno jako metoda, která bude dále uvažována a použita v práci.

2 TEORIE

Slovo „laser“ je zkratkou pro anglické „Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation“, což v překladu do češtiny znamená „zesilování světla stimulovanou emisí záření“. Základní princip fungování laseru sepsal na začátku dvacátého století Albert Einstein, avšak první spuštění laserového zařízení proběhlo v šedesátých letech. Princip fungování je založen na jevu, jenž se nazývá stimulovaná emise. Jedná se o velmi složitý fyzikální jev, který kombinuje znalosti kvantové fyziky a termomechaniky, proto bude v rámci práce vysvětlen pouze na základní úrovni. Princip vzniku laserového paprsku je tedy následující:

Celý proces začíná atomem, který je v základním či neutrálním stavu. Pokud je tento atom umístěn do elektromagnetického pole o správné frekvenci může absorbovat energii a dostat se do vyššího energetického stavu, čemuž se říká excitovaný stav. Pokud takovýto atom přijme energii ve formě fotonu může to atom stimulovat k tomu, aby se vrátil do základního stavu, což je donutí ze sebe vydat rozdíl energií, čímž emituje další foton, a tedy z atomu vychází dva fotony. Druhý emitovaný foton je po všech směrech totožný s fotonem, který jej převedl do základního stavu. Za vhodných podmínek je možné spustit řetězovou reakci, při které budou vždy vznikat nové fotony o stejných vlastnostech. Takto vzniká laserové světlo. Pokud celý tento proces umístíme do rubínové tyčky, která má na jednom konci zrcadlo polopropustné a na druhém normální, tak polopropustným zrcadlem odchází laserový paprsek. Zároveň musí být okolo tyče nějaký zdroj elektromagnetické pole, který bude kontinuálně dostávat atomy do stavu s vyšší energií. Jednoduché schéma vzniku laserového paprsku je na Obr. 6. [8],[11]



Obr. 6 - Princip fungování laseru [9]

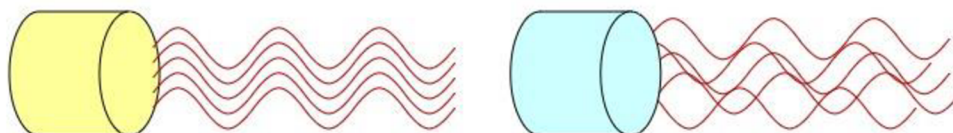
Vlivem specifických podmínek za jeho vzniku má výsledný laserový paprsek několik unikátních vlastností:

- Monochromatismus – laserový paprsek má velmi úzkou oblast vlnových délek. Tato vlastnost způsobuje, že laserový paprsek má výhradně jednu barvu a vícebarevné paprsky není možné vytvořit. Na Obr. 7 vpravo je vidět, že pokud na skleněný hranol dopadne bílé světlo, tak se rozloží na barevné spektrum, kde každá barva má svou vlnovou délku. Monochromatické světlo, Obr. 7 vlevo, prochází hranolem beze změny, neboť má jednotnou vlnovou délku. [8]



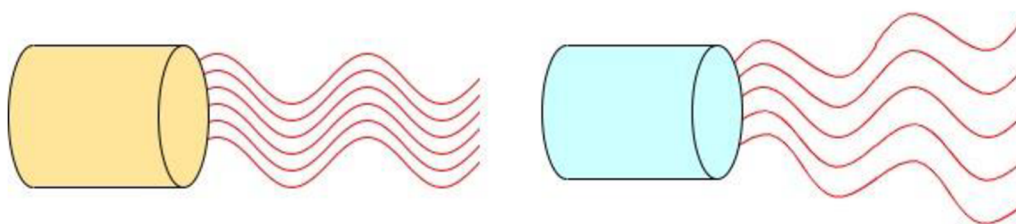
Obr. 7 Monochromatismus

- Koherentnost – jednotlivé vlny laserového paprsky mají stejný směr, takže pokud se „setká“ vícero vln vytváří společně interferenci. Na Obr. 8 vlevo je zobrazen koherentní zdroj, například právě laser, kde všechny paprsky mají stejnou vlnovou délku a jsou rovnoběžné, a tedy jejich maxima i minima spolu mohou snadno interferovat. Na Obr. 8 vpravo je zobrazen nekoherentní zdroj, například LED světlo, které sice má stejnou vlnovou délku jako laser, ale paprsky nejsou rovnoběžné, takže spolu nemohou snadno interagovat. [8]



Obr. 8 – Koherentnost

- Směrovost – laserový svazek má extrémně malou rozbíhavost, což znamená, že jediná odchylka od naprosté rovnoběžnosti paprsků vzniká na výstupní cloně. V praxi to znamená, že laser si udrží tvar „čáry“ i ve větší vzdálenosti od zdroje. Směrové světlo je zobrazeno na Obr. 9 vlevo, kdy i od jisté vzdálenosti od zdroje jsou paprsky rovnoběžné, zatímco vpravo se paprsky postupně rozbíhají. [8]



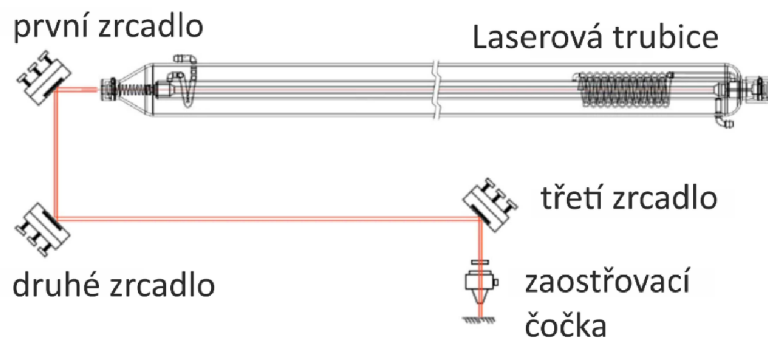
Obr. 9 - Směrovost

- Fokusovatelnost – laserová paprsek lze zaostřit do velmi malé plochy, čímž zvyšujeme jeho intenzitu. Tímto získáme několikanásobně vyšší intenzitu ve stopě oproti paprsku, jenž se nedá zaostřit do stejně malé plochy i pokud mají oba paprsky stejnou energii. Laserový paprsek může být zfokusován na hodnotu intenzity $10^{17} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$, oproti kyslíko-acetylenovému má intenzitu „jen“ $10^3 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$. [8]

2.1 Typy laserových zařízení

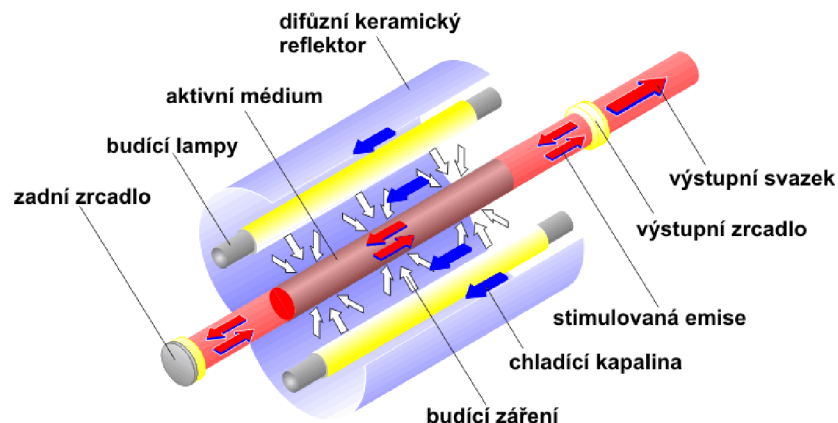
V praxi se používají různé typy zdrojů laserových paprsků, přičemž při volbě vhodného stroje je směrodatné konečné užití, neboť různé zdroje paprsků zvládají různě obrobít různé povrchy. Existují různá kritéria, dle kterých můžeme zařízení rozdělovat, v rámci práce se bude provedeno dělení dle aktivního prostředí:

- CO_2 – Aktivní prostředí je směs plynů CO_2 , N_2 a He v uzavřené skleněné trubici. Princip vzniku záření vzniká excitací molekul dusíku, kdy vyexcitované molekuly dusíku se srážejí s molekulami CO_2 , čímž dochází k předání energie a následnému excitování CO_2 . Helium se používá jak ke chlazení, tak odebrání přebytečné energie CO_2 . Nevýhodou této metody je velká náchylnost k mechanickému poškození trubice, ať už přímo o rozbití skleněné trubice nebo těsnění na koncích, které udržuje plynou atmosféru uvnitř. Další nevýhodou je, že paprsek nemůžeme vést skrze optická vlákna, ale musíme používat sadu zrcadel. Tento typ aktivního prostředí vyvolává paprsek vhodný pro gravírování do organických materiálů, jako například dřevo a plast. Schéma CO_2 laseru je na Obr. 10. [10], [16]



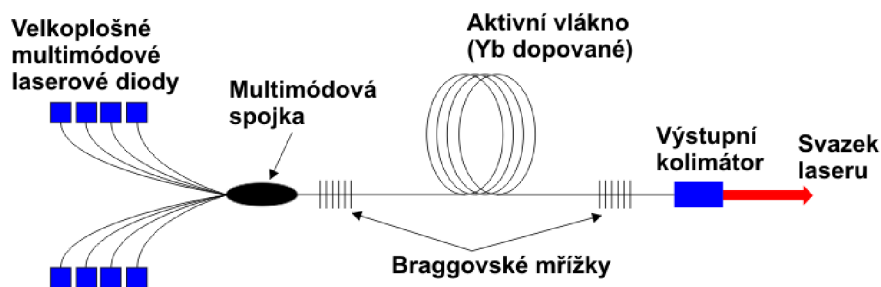
Obr. 10 - Trubice CO_2 laseru [11]

- Nd: YAG – jedná se o starší model pevnolátkového stroje. Aktivní prostředí tvoří yttrium aluminium granát (YAG) dopovaný neodymem (Nd), případně ytterbiem (Yb). Aktivní prostředí je nejčastěji tvořeno skly s přísadkami vzácných prvků, ale vzácně se mohou používat i stroje, které jako aktivní prostředí využívají krystaly drahých kamenů, jako například rubín či safír. Buzení může probíhat buď pomocí lamp, jak je zobrazeno na Obr. 11, případně se mohou k buzení paprsku použít diody. Tento typ aktivního prostředí vyvolává laserový paprsek vhodný k popisu kovových materiálů, což jsou například oceli či slitiny hliníku, ale i mosaz nebo měď. [12], [16]



Obr. 11 - Princip Nd: YAG laseru buzeného lampami [13]

- Vlákenný – jedná se o nejmodernější typ pevnolátkového zdroje. Aktivní prostředí je tvořeno optickým vláknem, které je dopované ytterbiem (Yb), viz Obr. 12. Výhodou tohoto typu zařízení je, že se v rámci jednoho stroje může použít i vícero optických vláken, čímž se zvýší výkon. Základní buzení vychází z několika diod, které budící paprsky spojují v jeden ve spojce. Excitace a zdroj laserového paprsku pak vzniká v aktivním vlákně ohraničené Braggovskými mřížkami. Tento typ laseru také zvládá jak kontinuální, tak pulzní provoz. Vzhledem k tomu, že se jedná také o pevnolátkový zdroj, tak využití je velmi podobné, a tedy převážně kovové materiály. [14], [16]



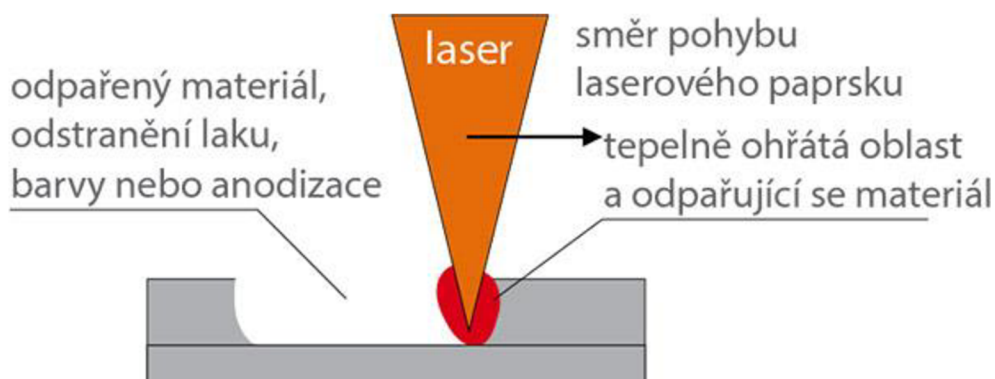
Obr. 12 - Princip vláknového laseru [15]

Je nutné zdůraznit, že u všech laserů se jejich použití může lišit a je možné používat například vláknový laser na dřevo, ale vzhledem k jeho vlnové délce je zde zvýšené riziko požáru. Znamená to tedy, že za speciálních podmínek je možné gravírovat i materiály, které nejsou pro daný stroj primární. Nejlepších výsledků se však dosáhne, pokud je použit vhodný přístroj pro vhodný materiál. [16]

2.2 Princip gravírování

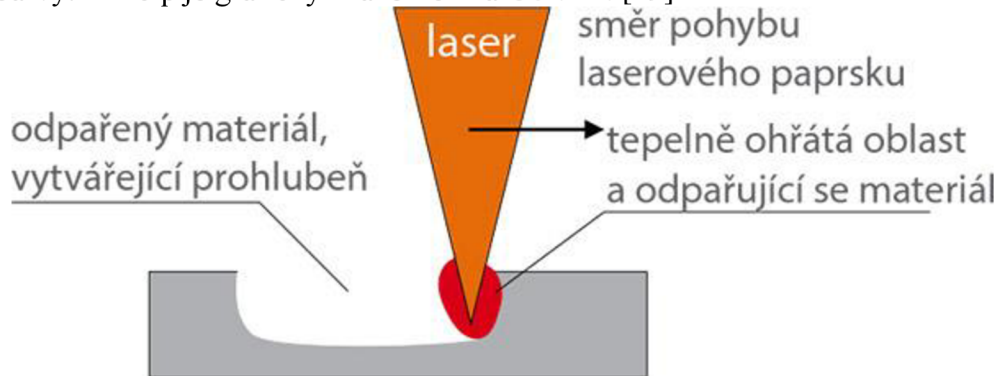
Princip vzniku laserového paprsku byl již objasněn, ale je nutné popsat také samotné gravírování. Poté, co je paprsek stvořen zdrojem, je soustředěn pomocí optické soustavy do jednoho bodu, kde probíhá samotné gravírování. Princip značení se ale může lišit například dle použité povrchové úpravy či materiálu. Základní možnosti značení jsou: [19]

- Do přídavné vrstvy – laser působí na přidanou vrstvu materiálu, nejčastěji povrchovou úpravu ať už například elox nebo lakování. Podkladová vrstva tedy působí jako kontrastní vrstva, kde vytvořený text opticky vystoupí a je lépe čitelný. Navíc můžeme mít různé barvy povrchových úprav. Na Obr. 13 je graficky znázorněn princip gravírování do přídavné vrstvy. [19]



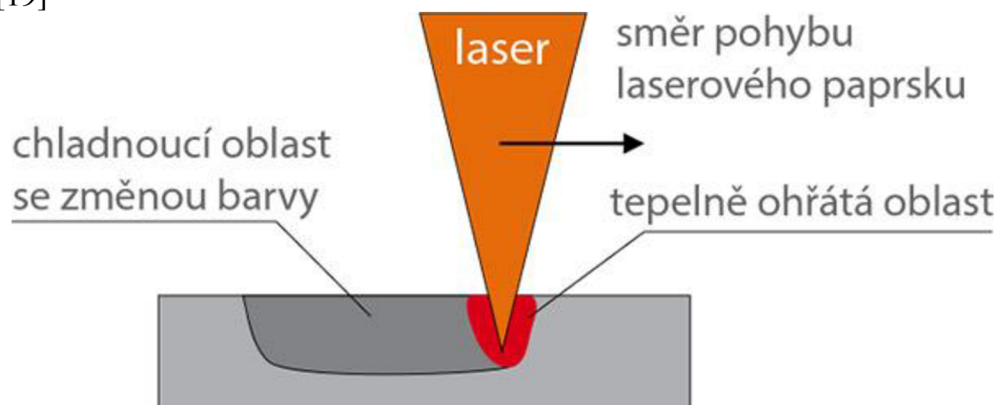
Obr. 13 - Značení do přídavné vrstvy [20]

- Hlubkové gravírování – laser odstraní vrstvu přímo z povrchu materiálu, jedná se o nejběžnější princip. Samotný materiál může, ale nemusí měnit barvu, záleží na materiálu. Čitelnost tedy spočívá v rozdílné hloubce ve značení a původním povrchu, obdobně, jako tomu je například u ražení, ale například u dřeva dochází i ke změně barvy. Princip je graficky znázorněn na Obr. 14. [19]



Obr. 14 - Hlubkové gravírování [20]

- Fotochemicky – od předchozích metod se liší hlavně tím, že při průchodu paprsku nedochází k odpaření žádného materiálu, ale pouze se změnila jeho barva. To je způsobeno přidáním speciálních pigmentů, které jako reakci na energii z laserového paprsku změnila barvu. Na Obr. 15 je grafické znázornění, fotochemického gravírování. [19]



Obr. 15 - Fotochemické gravírování [20]

3 VÝROBA VZORKŮ

3.1 Volba materiálů vzorků

Není možné rozsahem jedné bakalářské práce pokrýt všechny materiály používané ve strojírenství, ale v rámci možností byly zvoleny ty nejtypičtější a nejdostupnější pro naše podmínky. Při volbě materiálu byl kladen důraz na jejich zastupitelnost v průmyslu a jejich běžnou dostupnost. Materiály, které splňují podmínky a byly zvoleny do experimentální výroby jsou následující:

- Ocel – jedná se slitinu železa, uhlíku a dalších legujících prvků, která má obsah uhlíku menší než 2,14 %. Vzhledem k možnosti alternovat vlastnosti slitin oceli pomocí přidaných legur, je jejich rozšíření a využití v průmyslu hojné. Z tohoto důvodu byly pro experimentální část této práce zvoleny hned dvě slitiny oceli. První slitina oceli zastupuje nelegované a obvyčejnější oceli, ale zato je pozinkovaná, takže má povrchovou úpravu. Druhá slitina patří do skupiny legovaných ocelí, konkrétně se jedná o korozivzdornou ocel. Ukázka vygravírovaného čárového kódu do oceli je na Obr. 16. [18]



Obr. 16 - Ukázka gravírování do oceli [24]

- Hliník – slitiny hliníku patří hned na druhé místo ve využitelnosti v průmyslu, čímž se řadí hned na za slitiny oceli. Velkou výhodou slitin hliníku, oproti ocelím je dobrá korozivzdornost a výrazně nižší hmotnost, přičemž jejich nevýhodou je nižší tvrdost. Hliníkové slitiny často nachází uplatnění v provozech, kde nastávají podmínky, které podporují korozi nebo naopak v průmyslech, kde je nutné snížit hmotnost součástí, byť za cenu zhoršení mechanických vlastností. Ukázka gravírování do hliníku je na Obr. 17.



Obr. 17 - Ukázka značení na hliníkovém plíšku [23]

- Dřevo – jedná se především o materiál využívaný v historii, převážně díky jeho obecné dostupnosti. Kvůli anizotropii a relativně malým pevnostem ve srovnání s ocelí však postupem technologií bylo ve většině částech průmyslu nahrazeno. Využití gravírování do dřeva je technicky mnohem menší a převážně se jedná o reklamní předměty či popis přepravních beden. Pro experimentální část práce byla zvolena dubová překližka, která sice nemá mechanické vlastnosti masivu dřeva, ale mnohem přívětivější pořizovací cenu. Výsledek experimentu by tato záměna neměla ovlivnit. Na Obr. 18 je ukázka gravírování do dřevěné bedny. [22]



Obr. 18 - Ukázka gravírování do dřeva [19]

- Plast – jedná se o řadu syntetických nebo polysyntetických polymerních materiálů. Jednotlivé materiály získávají různé vlastnosti dle jejich složení a tvarů. Pro potřeby této práce byl zvolen jako materiál plexisklo (PMMA), který je využíván pro své vlastnosti jako je vysoká propustnost světla, vysoká odolnost vůči UV záření a nízkou pořizovací cenu. Pro potřeby bakalářské práce byly vyhotoveny dva vzorky, přičemž jeden je na plexisklo čiré a druhý na plexisklo matné. Plexisklo se používá například jako průhledný bezpečnostní kryt u strojních zařízeních. Samotné desky jsou při dopravě chráněny ochrannou fólií, která byla před samotným gravírováním odstraněna. Na Obr. 19 je ukázka gravírování značícího štítku s QR kódy. [2], [3]



Obr. 19 - Ukázka gravírování do plastu [17]

Materiálů vhodných ke gravírování existuje celá spousta, ale pro rozsah této práce je dostačující počet šesti vzorků, které zastupují nejčastěji používané materiály ve strojírenství. Jedná se o nelegovanou pozinkovanou ocel, korozivzdornou ocel, hliníková slitina, průhledné plexisklo, matné plexisklo a dřevěná dubová překližka.

3.2 Volba strojů

Vzhledem ke vhodnosti použití vláknových laserů pro kovové materiály byl zvolen pro tuto skupinu laser TAILOR od firmy CAJO. Samotný stroj je na Obr. 20. Základní parametry vláknového laseru CAJO TAILOR jsou v Tab. 1. Rozšiřující informace jsou k nalezení jako Příloha 1. Výkon laseru je sice pouhých 20 W, avšak je to plně dostačující na gravírování. Vzhledem k tomu, že laser nemá od výrobce ochranné sklo, je nutné v jeho přítomnosti používat speciální ochranné brýle.



Obr. 20 - Vláknový laser CAJO TAILOR

Tab. 1 – Technické parametry – Vláknový laser CAJO TAILOR

Výkon	Vlnová délka	Pracovní plocha	Chlazení
[W]	[nm]	[mm]	[-]
20	1 060-1 080	220x220	Vzduch

Pro dubovou překližku a plexiskla byl zvolen jako gravírovací stroj CO₂ laser Trotec Speedy 300, jehož základní technické parametry jsou v Tab. 2. Rozšiřující parametry jsou k nalezení jako Příloha 2. Samotný gravírovací stroj je na Obr. 21. Srdcem stroje je digitálně řízená a vzduchem chlazená CO₂ trubice, která generuje laserový paprsek. Horní kryt působí jako bezpečnostní prvek a při práci laseru není nutné mít další ochranné pomůcky.

Obr. 21 CO₂ laser Trotec Speedy 300Tab. 2 - Technické parametry – CO₂ laser Trotec Speedy 300 [30]

Výkon	Vlnová délka	Pracovní plocha	Chlazení
[W]	[nm]	[mm]	[-]
60	9 300-10 600	726x432	Vzduch

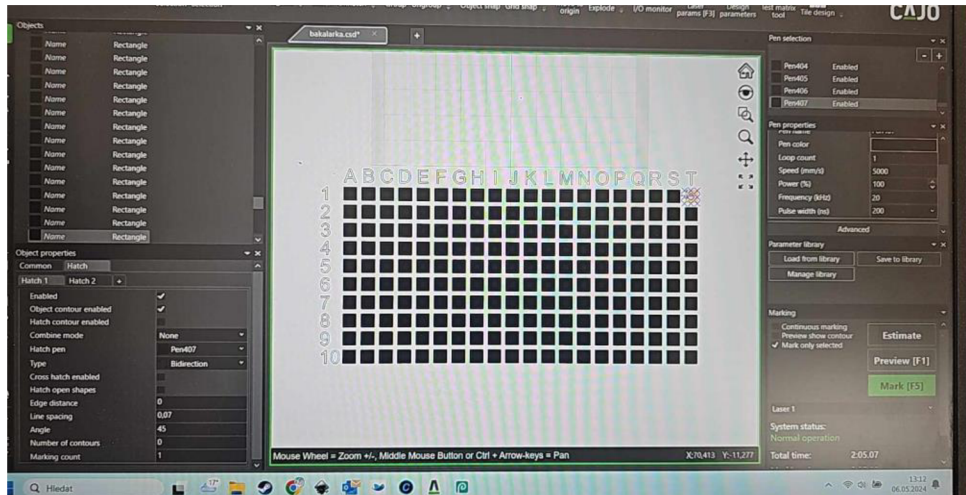
3.3 Podmínky experimentu

Vzhledem k rozličnosti navržených materiálů a dvěma použitým strojům je v Tab. 3 ujasnění, na kterém stroji bude udělán, který vzorek. Materiály byly přiřazeny ke strojům dle obecně zavedené praxe, kdy na CO₂ laseru se gravírují organické materiály a na vláknovém laseru se gravírují tradičně kovy.

Tab. 3 - Souhrn vzorků

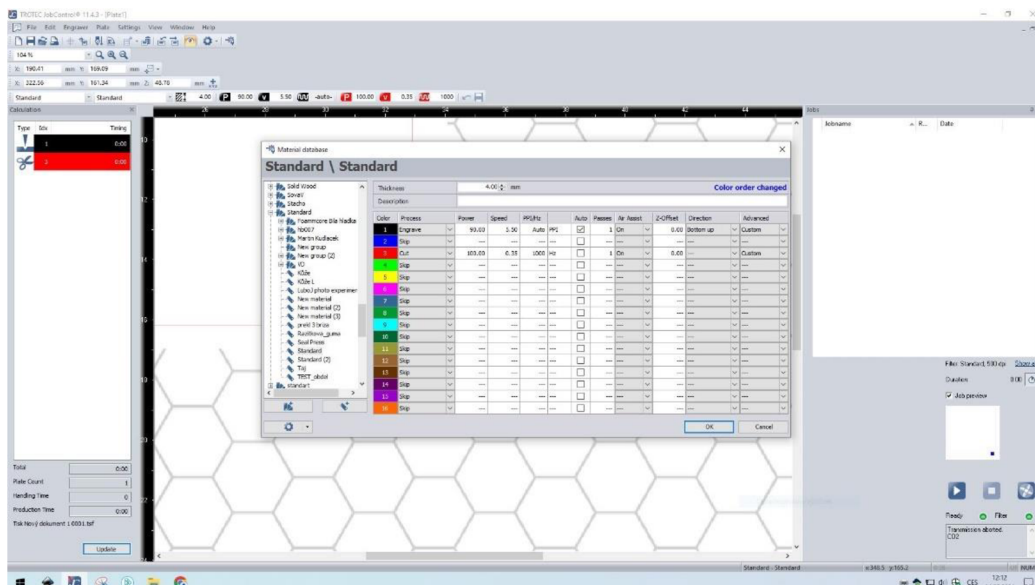
Číslo vzorku	Materiál	Použitý stroj
Vzorek 1	Pozinkovaná ocel	CAJO TAILOR
Vzorek 2	Korozivzdorná ocel	CAJO TAILOR
Vzorek 3	Hliník	CAJO TAILOR
Vzorek 4	Dubová překližka	Trotec Speedy 300
Vzorek 5	Plexisklo – matné	Trotec Speedy 300
Vzorek 6	Plexisklo – čiré	Trotec Speedy 300

Na stroji CAJO TAILOR byly pro všechny vzorky nastaveny parametry délky pulsu na 200 ns, výplň byla nastavena také jednotná a to hodnota 0,07 s úhlem 45°. Na všechny vzorky byla vygravírována totožná mřížka, na které sloupce mají vždy jednu hodnotu posuvu a řádky vždy představují jednu hodnotu výkonu. kde řádky jsou značeny číslem a představují hodnotu výkonu, která je stejná pro celý řádek. Hodnoty výkonu, tedy řádky, jsou v rozmezí 10-100 % maximálního výkonu přístroje, přičemž celkem bylo nastaveno 10 řádků. Hodnoty posuvu jsou v rozmezí 1000 mm · s⁻¹ až 5000 mm · s⁻¹, přičemž celkem bylo vytvořeno 20 sloupců. Na Obr. 22 je pracovní prostředí, ve kterém byla zkušební matrice nastavena.



Obr. 22 - Pracovní prostředí stroje CAJO TAILOR

Pro organické vzorky byla na stroji Trotec Speedy 300 byla vytvořena obdobná testovací matrice, avšak dimenze byla pouze 10x10 polí, kde na řádcích byl zobrazen výkon a na sloupcích posuv. Hodnoty výkonu se pohybovaly z bezpečnostních důvodů pouze v rozmezí 0-90 %, neboť při hodnotě 100 % výkonu docházelo ke vznícení vzorku z překližky. Hodnoty posuvu byly v rozmezí od 355 mm · s⁻¹ až do 3550 mm · s⁻¹. Na Obr. 23 je ukázka pracovního prostředí stroje Trotec Speedy, ve kterém byly tyto hodnoty nastavovány. Ukázka seřízení stroje je jako Příloha 3.

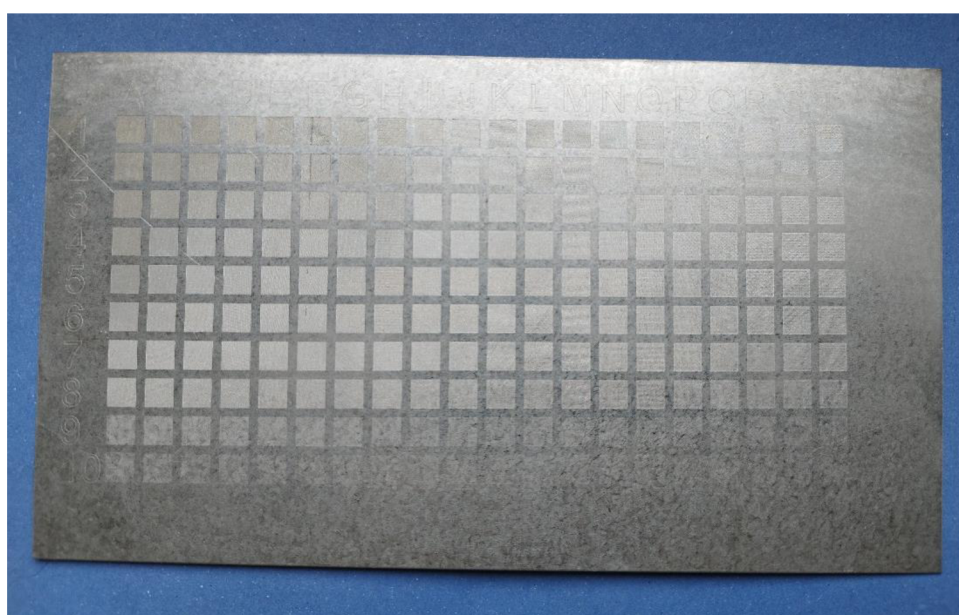


Obr. 23 - Pracovní prostředí stroje Trotec Speedy 300

4 VYHODNOCENÍ VZORKŮ

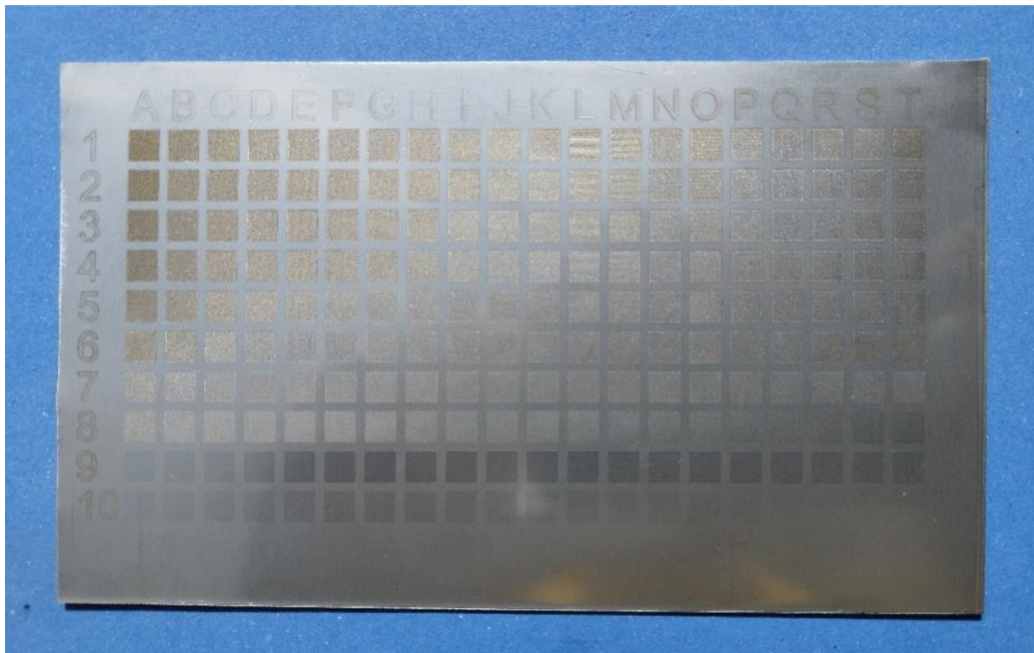
V této kapitole dojde k vyhodnocení vytvořených vzorků. Všechny vzorky byly shledány jako vyhovující pro další průběh práce a nebylo nutné experimentální část opakovat. Nyní bude každý vzorek podroben hledání vhodných podmínek pro gravírování. Nejdůležitější podmínkou je samozřejmě dobrá čitelnost. Při shodě více polí je více směrodatný posuv oproti výkonu, neboť záleží na rychlosti popisu a gravírování. Je nutné zdůraznit, že se jedná o osobní preferenci a pohled a jiný člověk by opticky zvolil jinou variantu.

U vzorku 1, viz Obr. 24, můžeme jasně vidět, že vyhovujících a dobře čitelných pozic se na vzorkovníku nachází hned několik. Nevyhovující kvůli špatné čitelnosti políčka od devátého řádku níže, včetně. Ze stejného důvodu je pole vyhovujících polí zkráceno od sloupce P. Byť jsou všechna ostatní políčka vyhovující, tak požadavkem je zanechat vysoký posuv, oproti výkonu. Po optickém zkoumání bylo jako vhodné pole vybráno 7M. Což značí výkon 40 % a posuv $3520 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.



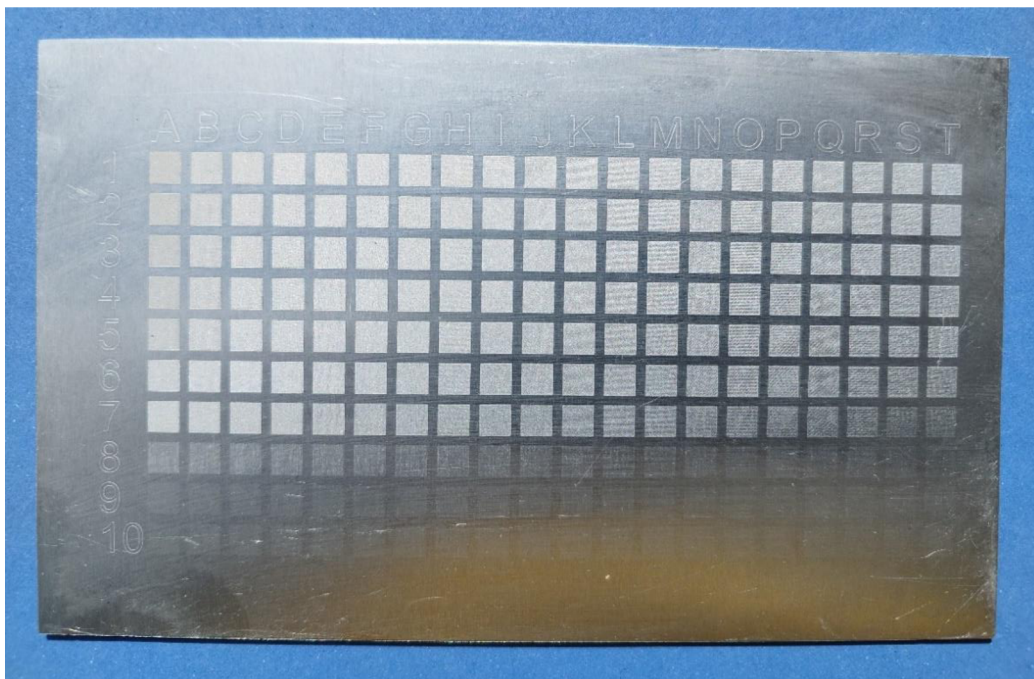
Obr. 24 - Vzorek 1 - Pozinkovaný plech

Na vzorku číslo 2, viz Obr. 25, vidíme, že korozivzdorná ocel má oproti hliníku, Obr. 26, a pozinkovanému plechu, Obr. 24, mnohem barevnější strukturu. To je způsobeno tím, že korozivzdorná ocel se řadí vlivem příměsí do fotochemických vzorků, takže po působení laserového záření se mění barva na povrchu. Proto jsou na vzorkovníku barvy od tmavě hnědé, převážně u malého posuvu a vysokého výkonu, až téměř po bílou, osmý řádek. Jako nejvhodnější podmínky byl zvolen průřez třetího řádku, což je výkon 80 %, a sloupce B, což je posuv $1210 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 25 - Vzorek 2 - Korozivzdorná ocel

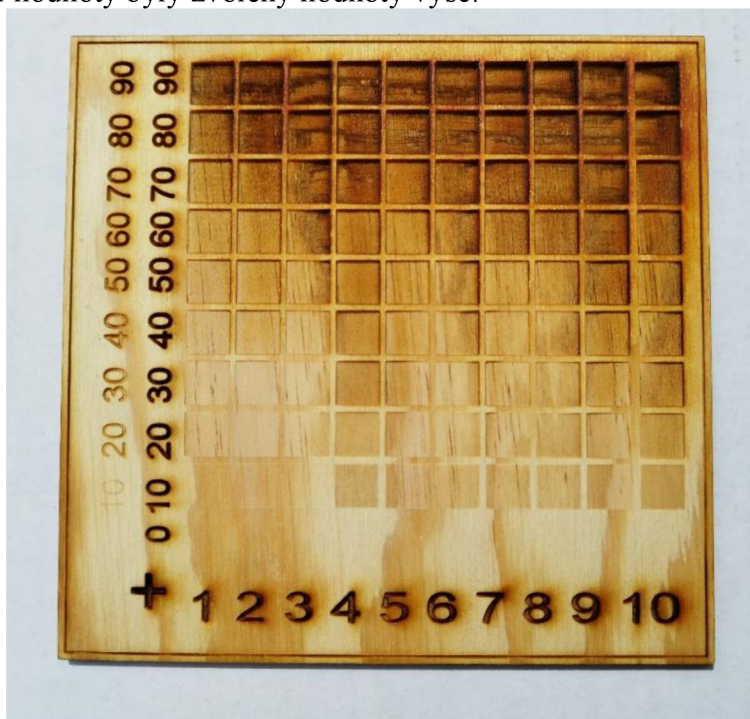
U vzorku číslo 3, viz Obr. 26, lze vidět, že spodní řádek už téměř splývají s okolním negravírovaným materiálem. Za čitelné můžou být považovány políčka od sedmého řádku a výše. Vzhledem ke stejným podmínkám, jako u předchozích vzorků, je nutné uvažovat i zde nad podmínkami rychlosti vůči výkonu. Avšak je nutné se podívat i na to, že u sloupců L či M je jasně viditelný výplň, což by u textu či grafického kódu mohlo způsobit nečitelnost. Nejvhodnější podmínky byly zvoleny v průsečíku pátého řádku, což je hodnota výkonu 60 %, a sloupce E, což značí hodnotu posuvu $2100 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 26 - Vzorek 3 - Slitina hliníku

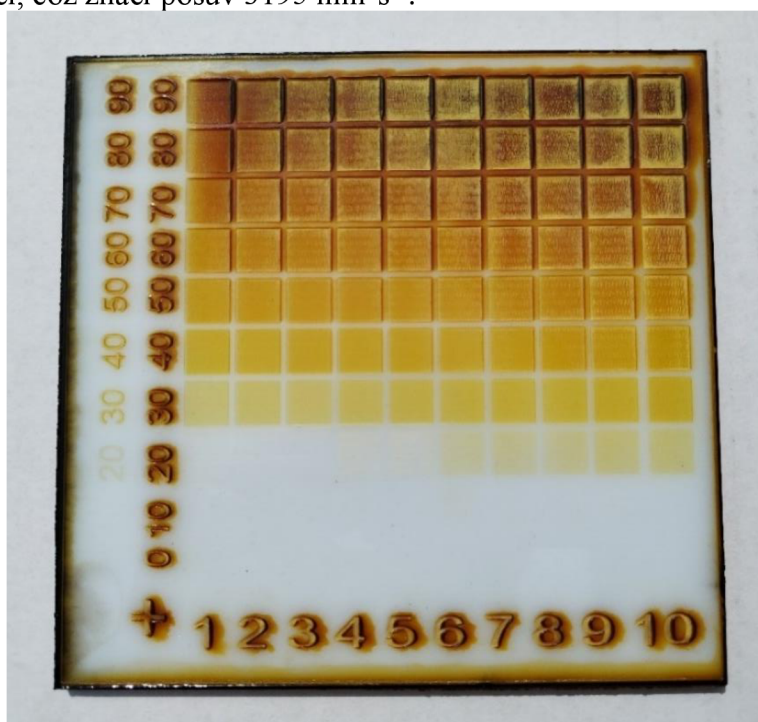
Na vzorku číslo 4, viz Obr. 27, je na první pohled vidět, že vysoký výkon je naprosto nevyhovující, pro jakoukoliv hodnotu posuvu, ale přirozeně čím nižší posuv, tím horší výsledek. Samotné gravírování je zbytečně hluboké a okolí testovacích čtverečků je spálené, což je také nevyhovující, neboť to může zhoršovat čitelnost. Naopak, nízké hodnoty v podstatě splývají se vzorem překližky, a proto jako ideální podmínky bylo zvoleno pole

v pátém řádku a sedmém sloupci. Konkrétní hodnoty jsou 50 % výkonu laseru a posuv je $2485 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Obdobného výsledku gravírování by bylo dosaženo i v jiných hodnotách, ale častěji s nižším posuvem a větším výkonem a jelikož priorita byla stanovena i na značící čas, jako nejvhodnější hodnoty byly zvoleny hodnoty výše.



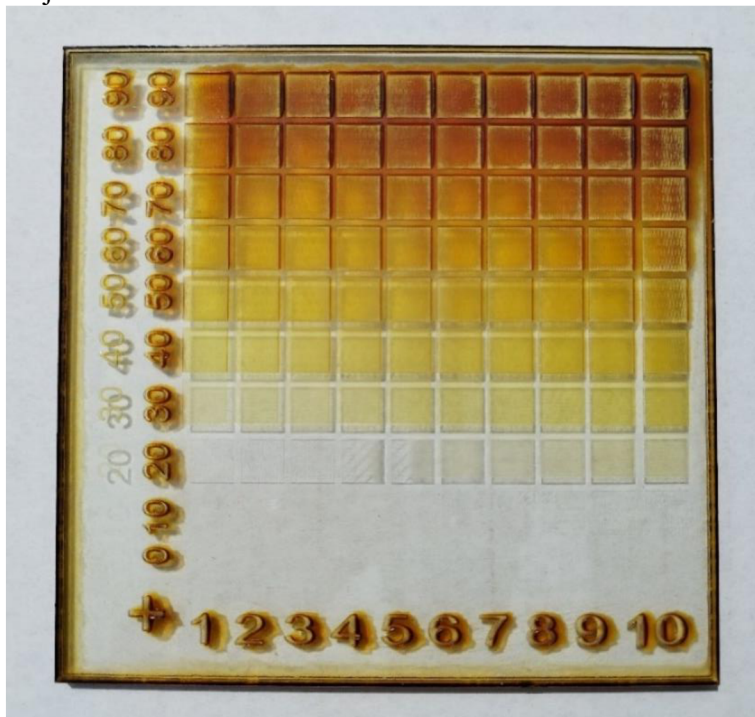
Obr. 27 - Vzorek 4 - Dubová překližka

U vzorku číslo 5, viz Obr. 28, vidíme, že vysoký výkon, značně poškozuje okraje polí, proto jsou nevyhovující. Při hledání nejvhodnějších popisovacích parametrů hledáme takové, aby zbarvení okolo polí bylo minimální, neboť to může mít neblahý vliv na čitelnost. Právě proto byly jako příklad ideálních podmínek byl zvolen bod ve třetím řádku, což značí výkon 30 % a v devátém sloupci, což značí posuv $3195 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 28 - Vzorek 5 - Matné plexisklo

Vzorek číslo 6, viz Obr. 29, je velmi podobný předchozímu vzorku, přeci jen se jedná druhově o stejný materiál. Vzhledem k tomu, že plexisklo je průhledné, tak při hledání vhodných podmínek velmi záleží na podložce, či pozadí vzorku. Pokud bude uvažováno pozadí bílé, jako na obrázku, pak je výkon 40 %, tedy čtvrtý řádek a pro posuv je to sedmý sloupec, což je hodnota $2485 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Vyšší výkon už má většinou viditelné značky opálení, proto jsou nevyhovující.



Obr. 29 - Vzorek 6 - Čiré plexisklo

Všechny nevhodnější parametry byly pro přehlednost vepsány do Tab. 4.

Tab. 4 - Výběr ideálních hodnot vzhledem k možné čitelnosti

Vzorek	Materiál	Posuv	Síla
[-]	[-]	$[\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}]$	[%]
Vzorek 1	Pozinkovaný plech	3520	40
Vzorek 2	Korozivzdorná ocel	1210	80
Vzorek 3	Hliníková slitina	2100	60
Vzorek 4	Dubová překližka	2485	50
Vzorek 5	Plexisklo matné	3195	30
Vzorek 6	Plexisklo čiré	2485	40

ZÁVĚR

Zadáním práce bylo zvolit nejvhodnější metodu pro značení strojírenských dílů. Z dostupných metod byla vzhledem ke stanoveným podmínkám zvolena jako nejvhodnější gravírování laserovým paprskem. Výhodou laseru je vysoká variabilita, laser zvládá jak obyčejný text, tak loga či grafické kódy, snadná obsluha, neboť většina procesů se nastavuje přímo v pracovním prostředí laseru, rychlost, možnost automatizace a dlouhodobá čitelnost textu, neboť laserový popis je v podstatě nesmazatelný.

V rámci práce proběhla také nutná rešerše na laserová zařízení. Byl popsán vznik laserového paprsku, různé zdroje laserového záření a jejich využití pro strojírenskou potřebu. Obsažen v rešerši je také samotný princip gravírování a jeho druhy.

Následně bylo vytipováno šest vzorků, které symbolizují běžně používané materiály ve strojírenství. Celkově byly vytvořeny dvě skupiny, vzorky kovové a nekovové či organické. Do skupiny kovových byly zařazeny vzorky z pozinkovaného plechu, hliníkové slitiny a korozivzdorná ocel. Do skupiny nekovových vzorků byly zařazeny vzorky z dubové překližky, matného plexiskla a čírého plexiskla.

Pro každou skupinu byl zvolen vhodný gravírovací stroj, přičemž pro kovové materiály to byl CAJO TAILOR, což je vláknový laser a pro nekovové materiály to byl Trotec Speedy 300, což je CO₂ laser. Na všechny vzorky byla vygravírována testovací matrice, která sleduje vztah výkonu laseru vůči rychlosti posuvu. Nastavení matrice proběhlo u obou strojů v jejich pracovním prostředí a příslušných programech.

Po vytvoření byly všechny vzorky zhodnoceny jako vyhovující pro potřeby práce a mohlo se přejít k samotnému hodnocení vzorků. Vzorky byly hodnoceny převážně z pohledu dobré čitelnosti. Pro všechny vzorky byly následně vytipovány nejvhodnější podmínky pro dobrou čitelnost. Pokud u některých vzorků nastala opticky shoda vzhledu, byla zvolena možnost s vyšším posuvem, převážně kvůli produktivitě. Výsledné nejvíce vyhovující hodnoty jsou pro každý vzorek vepsány do Tab. 4.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *Technologie značení*. Online. Marksys. 2024. Dostupné z: <https://marksys.cz/>. [cit. 2024-04-14].
2. *Technologie značení*. Online. Automator. 2024. Dostupné z: <https://www.automatorgroup.cz/>. [cit. 2024-04-14].
3. *Ukázka značení laserem*. Online. In: JANTECH. Jantech.sk. 2023. Dostupné z: <https://www.jantech.sk/cz/popisovani-laserem/>. [cit. 2024-05-24].
4. *Značení štítkem*. Online. In: Alza.cz. 2024. Dostupné z: <https://1url.cz/X1Mdf>. [cit. 2024-05-13].
5. *Razící nástroje*. Online. In: Automator. 2023. Dostupné z: <https://www.automatorgroup.cz/coajakznacime-technologie/razba/>. [cit. 2024-05-13].
6. *Ukázka rytí*. Online. In: Automator. 2024. Dostupné z: <https://www.automatorgroup.cz/coajakznacime-technologie/ryci-systemy/>. [cit. 2024-05-17].
7. *Ukázka značení laserem*. Online. In: EpilogLaser. 2024. Dostupné z: <https://www.epiloglaser.com/en-uk/how-it-works/applications/barcode-engraving-system/>. [cit. 2024-05-17].
8. HALLIDAY, David; RESNICK, R. a WALKER, J. *Fyzika 2*. 2. vydání. VUTIUM, 2013. ISBN 978-80-214-4123-1.
9. *Princip fungování laseru*. Online. In: Fyzika Reichl. 2024. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/776-emise-a-absorpce-svetla>. [cit. 2024-03-21].
10. *Princip laseru*. Online. In: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---zakladni-princip-laseru-a-jejich-deleni-127>. 2014. Dostupné z: <http://www.lao.cz/>. [cit. 2024-05-19].
11. *Princip CO2 Laseru*. Online. LEONARDOTECHNOLOGY. LeonardoTechnology. 2022. Dostupné z: <https://www.lt.cz/e-learning/laser/princip-co2-laseru>. [cit. 2024-05-19].
12. *Princip CO2 laseru*. Online. In: CloudRay. 2021. Dostupné z: <https://www.cloudray.cz/>. [cit. 2024-05-19].
13. *Nd:YAG princip*. Online. LEONARDOTECHNOLOGY. LeonardoTechnology. 2022. Dostupné z: <https://www.lt.cz/>. [cit. 2024-05-19].
14. *Princip vláknového laseru*. Online. LEONARDOTECHNOLOGY. LeonardoTechnology. 2022. Dostupné z: <https://www.lt.cz/e-learning/laser/princip-vlaknoveho-fiber-laseru>. [cit. 2024-05-19].
15. *Princip vláknového laseru*. Online. In: MegaBlok. 2024. Dostupné z: <https://www.mega-blog.cz/lasery/hlavni-typy-laseru-pouzivanych-v-prumyslu/>. [cit. 2024-05-19].
16. HYMSON. *Použití laserů*. Online. HYMSON. HymsonLaser. 2023. Dostupné z: <https://www.hymsonlaser.net/>. [cit. 2024-05-22].
17. *Ukázka gravírování plastu*. Online. In: AJP-tech. 2023. Dostupné z: <https://www.ajptech.cz/novinky/5-prilezitosti-pro-znacici-laser-gold-line-mopa-71>. [cit. 2024-05-24].
18. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-720-4248-3.
19. LEONARDO TECHNOLOGY. *Princip gravírování laserem*. Online. LEONARDOTECHNOLOGY. LeonardoTechnology. 2022. Dostupné z: <https://www.lt.cz/e-learning/laser/procesy-laseroveho-znaceni>. [cit. 2024-05-24].

-
20. *Princip gravírování laserem*. Online. In: LEONARDOTECHNOLOGY. LeonardoTechnology. 2022. Dostupné z: <https://www.lt.cz/e-learning/laser/procesy-laseroveho-znaceni>. [cit. 2024-05-24].
 21. FABLAB. *CO2 laser*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.fablabbrno.cz/vybaveni/laserova-rezacka/>. [cit. 2024-05-15].
 22. *Dřevo*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.oneindustry.cz/lexikon/plast-plasty-plasticke-hmoty/>. [cit. 2024-03-18].
 23. *Ukázka gravírování hliníku*. Online. In: KDM Fabrication. 2024. Dostupné z: <https://kdmfab.com/aluminum-laser-engraving/>. [cit. 2024-03-20].
 24. *Ukázka gravírování oceli*. Online. In: Jantech.sk. 2023. Dostupné z: <https://www.jantech.sk/cz/gravirovani-do-kovu/>. [cit. 2024-03-20].
 25. *Ukázka gravírování do dřeva*. Online. In: Vinařství burian. 2024. Dostupné z: <https://www.vinarstviburian.cz/Darkova-bedna-na-6-vin-gravirovana-2x3-d168.htm?tab=description>. [cit. 2024-03-20].
 26. *Ukázka gravírování plastu*. Online. In: Medicom. 2022. Dostupné z: <https://www.medicom.cz/prumyslove-lasery-katalog/produkty/mlf-plasty-pro-gravirovani/>. [cit. 2024-03-20].
 27. *Ražení*. Online. MARKSYS. Marksys. 2024. Dostupné z: <https://marksys.cz/razba/>. [cit. 2024-05-24].
 28. *Značení laserem*. Online. VABEX. Strojnisveraky.cz. 2024. Dostupné z: <https://strojnisveraky.cz/prumyslove-znaceni-laserem/>. [cit. 2024-05-24].
 29. AUTOMATOR. *Značení rytím*. Online. AUTOMATORGROUP. Automator. 2023. Dostupné z: <https://www.automatorgroup.cz/coajakznacime-technologie/ryci-systemy/>. [cit. 2024-05-24].
 30. *Technický list Trotec Speedy 300*. Online. In: TROTEC. Trotec laser. 2024. Dostupné z: <https://www.troteclaser.com/en/>. [cit. 2024-05-24].
 31. *Technický list CAJO Tailor*. Online. In: CajoTechnologies. 2024. Dostupné z: <https://cajotechnologies.com/>. [cit. 2024-05-24].
 32. BUDYNAS, Richard G. a NISBETT, Keith J. Shigleyho konstruování strojních součástí. Přeložil Martin Hartl et al. 10. vyd. Brno: VUTIUM, 2023. 1296 s. ISBN 978-80-214-5471-2.
 33. FOREJT, Milan a PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
 34. FREMUNT, Přemysl a PODRÁBSKÝ, Tomáš. *Konstrukční oceli*. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 1996. 262 s. ISBN 80-85867-95-8. IMAI, Masaaki. *Kaizen*. 1. vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2004. 272 s. ISBN 80-251-0461-3.
 35. LEINVEBER, Jan a VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.
 36. MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progresívne technológie (Advanced methods of material removal)*. 1. vyd. Košice: Viena, 2000. 276 s. ISBN 80-7099-430-4.
 37. PERNIKÁŘ, Jiří a TYKAL, Miroslav. *Strojírenská metrologie II*. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.
 38. PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8. *Příručka obrábění, kniha pro praktiky*. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.
-

39. PTÁČEK, Luděk. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-720 4283-1.
40. ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Technické parametry CAJO TAILOR
- Příloha 2 Technické parametry Trotec Speedy 300
- Příloha 3 Nastavení laserové gravírky Trotec Speedy 300



TECHNICAL DATA

Laser type	Pulsed fiber laser
Wavelength	1060-1080 nm
Laser class	Class 4
Laser power	20 W / 50 W / 100 W (Fiber) 20 W / 60 W / 100 W (FiberPlus) 20 W (Advanced)
Beam guiding	High-speed optical galvanometers
Marking speed (max)	500 characters/s or 7 m/s Can be upgraded up to 1000 characters/s or 14 m/s
Marking field	110x110 / 175 x 175 / 220 x 220 mm
Max size for the markable part	Scalable
Preview system	Integrated red light pointer (Class 2)
Cooling	Air
Power supply	110-240 V / 50-60 Hz
Power consumption:	
20 W Fiber	170 W
50 W Fiber	260 W
100 W Fiber	400 W
20 W Advanced	130 W
Marking software	CajoSuite™ CajoSmart™
Dimensions and weights (H x W x L)	Device enclosure 178 x 482 x 560 mm (15-20 kg) Marking head 155 x 131 x 545 mm (7 kg)
Ambient conditions	15-35 °C, humidity ≤80 %
Connectivity	I/O: 6 x IN 24 VDC, 6 x OUT 24 VDC 1 x RS-422 (incremental encoder input) 1 x LAN (for control)
Safety interlock	Duplicated safety contacts with feedback
Computer recommendations for Tailor (not included in standard delivery)	
Processor	Intel i5
Memory	4 GB
Hard drive	64 GB
Operation system	Windows 7 / Windows 10 / Windows 11
Interfaces	1 x LAN

TRADEMARK

All trademarks are the property of Cajo Technologies Ltd. All rights reserved. Information contained herein is subject to change without notice. No part of this Data Sheet may be reproduced in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of Cajo Technologies Ltd. Cajo Technologies Ltd. retains ownership and all other rights of all drawings, models, shapes, solutions, ideas, or any kind of industrial property rights presented or expressed in this Data Sheet. All other use of the material presented or expressed in this Data Sheet except for getting acquainted with, quoting, ordering, or using in business otherwise involving Cajo Technologies Ltd. is strictly prohibited.

CAJOTECHNOLOGIES.COM





Speedy 300

Laser engraving system

Mechanics

Working area	726 x 432 mm (29 x 17 inch)
Max. height of work piece	200 mm (7.8 inch) with 1.5 inch lens 200 mm (7.8 inch) with 2.0 inch lens 187 mm (7.3 inch) with 2.5 inch lens 149 mm (5.8 inch) with 4.0 inch lens
Working table	Ferromagnetic table, honeycomb cutting tabletop
Max. processing speed	3.55 m/s (140 ips)
Acceleration	50 m/s ² (1968 ips ²)
Motors	Brushless DC servo motors
Encoder	Incremental measuring system
Optical elements	Telescope, lens and mirrors
Lens	1.5, 2.0, 2.5, 4.0 inch
Accuracy	+/- 0.015 mm (0.0006 inch), over the whole working area
Addressable accuracy	5 µm (0.0002 inch)
Accuracy to size of parts	According to material and process
Maximum material load	20 kg (44 lbs), load over the whole working area
Interface	USB

Features standard

Lens	2.0 inch
InPack Technology™	Protects working head and all moving parts from dust
Exhaust	For entire working area
Software	JobControl® Expert
Operating console	Keypad, safety-switch, system turnkey; PC and Monitor not included
Laser Pointer	655 nm, <0,99 mWcw
Autofocus	Light bar sensor and software
Work area light	LED

trotec

Technical Datasheet

Options

Temperature sensor	To check temperature inside the work area.
Vacuum table	Ruler in cm or inch, instead of the standard table
Water cooling	For CO ₂ laser sources with 60 W or more, external cooler needed

Accessories

JobControl® Cut	Software to manipulate and optimize cut geometries
JobControl® Vision	Camera compensation system for print & cut applications
UniDrive	Supports different operating systems e.g. iOS, or multiple design stations
Rotary attachment	Available with conus, three-jaw chuck, three-jaw ring chuck or Drill chuck
TroCare	Comprehensive package of technical services

Laser

Laser system CO ₂	Sealed-off laser, maintenance free, air cooled, wavelength 10.6 µm
Laser power CO ₂	30, 45, 60, 80, 100 and 120 W

Dimensions & weight

Width x Depth x Height	1130 x 943 x 1054 mm (44.5 x 37.1 x 41.5 inch)
Weight	Approx. 150 kg / 330 lbs (depending on laser power)

Safety & environment

Laser class	CDRH laser class 2
Interlock	Double Interlock safety system
Ambient conditions	Mandatory ambient temperature +15° to +25° C or 59° to 77° F Humidity 40% to max. 70%, not condensing Dust free environment (2nd degree according to IEC 60947-1)
Certificates	CE compliant, FDA listed

Exhaust

Exhaust working point	Min. 200 m ³ /h at 1.000 Pa (Min. 117.7 cfm at 4.015 in H ₂ O) With Vacuum table min. 350 m ³ /h at 1.600 Pa (min. 206 cfm at 6.424 in H ₂ O)
-----------------------	--



Cooling

Air cooling

Active air flow cooling with fan

Water cooling

Optional available for CO₂ laser sources for 60 – 120 W with external water cooler

Electrical

Voltage & power consumption

1 ~ AC 110-230V 50/60Hz, 0.94 kW (30 W)

1 ~ AC 110-230V 50/60Hz, 1.2 kW (45 W)

1 ~ AC 110-230V 50/60Hz, 1.4 kW (60 W)

1 ~ AC 110-230V 50/60Hz, 1.8 kW (120 W)

Subject to change without notice.

Errors and omissions excepted.

Model identification Speedy 300X-8066

September 2020 – Update December 2020

