



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBY ASISTENČNÍHO ZAŘÍZENÍ PRO CO₂ LASERY

DESIGN FOR MANUFACTURING OF AN ASSISTANT FACILITY FOR CO₂ LASER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Okřina

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Slaný, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Lukáš Okřina**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Martin Slaný, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh výroby asistenčního zařízení pro CO2 Lasery

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Teoretický rozbor problematiky řezání a gravírování s využitím CO2 laserů
2. Analýza potřeb asistenčních prvků pro řezání a gravírování CO2 Lasery
3. Teoretická rešerše dostupných asistenčních zařízení a jejich vlastností
4. Návrh konstrukce nového kombinovaného asistenčního zařízení
5. Návrh výroby zařízení s ohledem na sériovou výrobu

Cíle bakalářské práce:

Práce se zaměřuje na zhodnocení stavu dostupných zařízení pro distribuci asistenčních plynů do místa řezu, chladicích jednotek pro regulaci a kontrolu teploty CO2 trubic a další periferie využívaných pro nízko výkonové CO2 Lasery. V rámci řešení práce by měl být vytvořen návrh nového zařízení, navržen konstrukčních komponent a následně technologické řešení výroby asistenčního zařízení s ohledem na sériovou výrobu. Pro řešení konstrukce a návrhu výroby bude využito CAD/CAM systémů.

Seznam literatury:

SHIGLEY, Joseph E., MISCHKE, Charles R., BUDYNAS, Richard G. Konstruování strojních součástí. vyd.1. Brno: VUTIUUM, 2010. 1186 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

ŠTULPA, Miroslav. CNC obráběcí stroje. 2. dotisk 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2008. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.


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

ŠTULPA, Miroslav. CNC obráběcí stroje. 2. dotisk 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2008.
128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

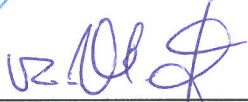
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 25. 11. 2015





prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Podstatou práce je návrh asistenčního zařízení pro nízkovýkonné CO₂ lasery se zaměřením na výrobu nosných plechových částí. Teoretická část práce shrnuje problematiku CO₂ laserů a dále se zaměřuje na jejich typy a použití v průmyslu. Práce obsahuje posouzení vlastností dostupných asistenčních zařízení. Hlavním cílem je navržení konstrukce pro nové zařízení s následným technologickým postupem výroby. Součástí návrhu je i technicko-ekonomické zhodnocení produkce v souvislosti se sériovou výrobou.

Klíčová slova

CO₂ laser, řezání, gravírování, asistenční zařízení

ABSTRACT

The main point of this thesis is a design of an assistant facility for low power CO₂ lasers with a focus on a manufacturing process of the supporting metallic parts. The theoretical part of the thesis summarises the general subject-matter of CO₂ laser technology, their types and industry utilisation. The thesis includes a review of main characteristics of the available assistant facilities. Main task is to design a construction of a new facility with the consecutive technological manufacturing process. The next part of this design is technical and economic evaluation in connection with mass production.

Key words

CO₂ laser, cutting, engraving, assistant facility

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

OKŘINA, L. *Návrh výroby asistenčního zařízení pro CO₂ Lasery*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Slaný, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Návrh výroby asistenčního zařízení pro CO₂ laser** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

18.5.2016

Datum

Lukáš Okřina

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Martinu Slanému, Ph.D. za jeho připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině, která mě během studia podporovala a vytvořila mi pro mé studium vhodné zázemí. V neposlední řadě děkuji za odbornou konzultaci Ing. Stanislavovi Tkáči z firmy NARRAN.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD.....	9
1 Princip CO ₂ laseru a jeho typy	10
1.1 Princip CO ₂ laseru	10
1.2 Typy CO ₂ laserů	11
1.3 Ztráta výkonu CO ₂ laseru	13
2 Možnosti použití CO ₂ laserů v průmyslu	15
2.1 Dělení materiálu	15
2.2 Značení.....	16
2.3 Gravírování.....	17
2.4 Leštění povrchů	17
2.5 Rapid prototyping	17
2.5.1 SLS - Selective Laser Sintering	17
2.5.2 DMLS - Direct metal laser sintering.....	19
3 Dostupná ASISTENČNÍ zařízení	20
3.1 CW - 3000AG	20
4 Návrh konstrukce	22
4.1 Konstrukce.....	22
4.1.1 Varianty konstrukce skříně a krytu	24
4.2 Teplotní bilance	26
4.3 Analýza konstrukčního provedení vzhledem k výrobě	26
5 Návrh výroby plechových součástí.....	28
5.1 Materiál.....	28
5.2 Volba výrobního stroje	29
5.2.1 TruMatic 6000	29
5.2.2 TrumaBend V320	29
5.3 Technologický postup	30
6 Technicko - ekonomické zhodnocení.....	34
6.1 Technické zhodnocení.....	34
6.2 Ekonomické zhodnocení.....	34
7 ZÁVĚR.....	37

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	38
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	42
SEZNAM OBRÁZKŮ	43
SEZNAM TABULEK.....	43
SEZNAM PŘÍLOH.....	44

ÚVOD

Slovo LASER je zkratka anglického slovního spojení **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation, které lze volně přeložit jako zesílení světla pomocí vybuzené emise záření. Všechny lasery pracují na tomto základním principu, nicméně se liší aktivním prostředím, které je plynné nebo pevné, dále konstrukcí především rezonátoru a velikostí výkonu spjatého s typem chlazení a vhodným použitím. [2]

Přestože je CO₂ laser relativně starou technologií (byl vynalezen v roce 1964 C. K. N. Patelem), stále se řadí mezi nejsilnější plynové lasery s širokým využitím. Používá se např. v chirurgii, hlavně však v průmyslu k řezání, sváření, obrábění, značením, ect. Hlavní předností nízkovýkonného CO₂ laseru je možnost obrábění a dělení nekovových materiálů. Díky neustálému vývoji se oblast jeho použití stále rozšiřuje. Novinkou je např. popisování potravin laserem společnosti Solaris Laser. První firmou využívající tuto technologii v naší zemi je Pekárna Sázava, která jej používá k popisu bochníků chleba. Tento trend je velmi atraktivní pro propagaci výrobků, lze předpokládat jeho rozšíření do dalších oblastí. [3, 4]

V České Republice mají laserové technologie již tradici. Svědčí o tom nejen množství firem zabývajících se prodejem a servisem v této oblasti, ale také rostoucí poptávka o tato zařízení v řadě oborů. Levnější lasery dovážené z Číny tvoří značnou část českého trhu, avšak ne vždy jsou dodány i s chladicí jednotkou. [5]

Cílem práce je stručný průřez problematikou CO₂ laserů a návržení dostupného přídavného zařízení k nízkovýkonnému laseru, které bude zajišťovat potřebné chlazení a přívod asistenčního plynu. Práce je zaměřena na technologii výroby plechových dílů s ohledem na malou sériovou výrobu.

1 PRINCIP CO₂ LASERU A JEHO TYPY

Tato kapitola obsahuje popis fungování CO₂ laseru a specifikuje jeho jednotlivé typy. Také reflektuje možné příčiny ztráty rezného výkonu.

1.1 Princip CO₂ laseru

CO₂ laser je nejvýkonnější z plynových laserů a pro vznik stimulované emise záření využívá kvantově - energetické přechody, související s oscilací molekul CO₂ a N₂. [1]

Je tvořen trubicí dlouhou zpravidla 0,5 - 1 m, která je naplněna směsí plynů (CO₂, N₂, He), kde aktivním plynem je oxid uhličitý. Životnost vyměnitelné trubice je přibližně 3 000 pracovních hodin a u trubic vyšší třídy až 10 000 hodin. Energie vyvolávající excitaci je vybuzena vysokonapěťovým výbojem mezi elektrodami. V tomto výboji jsou molekuly dusíku N₂ prostřednictvím srážek s elektrony excitovány ze své základní energetické konfigurace E₀ do prvního vibračního stavu na určité energetické hladině E₁. Tato energie má přibližně stejnou hodnotu, jako energie asymetrických vibrací molekul oxidu uhličitého E₂. Díky tomu se může nepružnými srážkami excitovaných molekul N₂ s molekulami CO₂ velmi rychle a účinně měnit vibrační energie molekul. Molekuly oxidu uhličitého přechází z asymetrických vibrací na symetrické pomocí energetického přeskočení z hladiny s vyšší energií E₂ do hladiny s energií nižší, jak je znázorněno na obr. 1.1. [1,6]



Obr. 1.1 Schéma přestupu elektronu [7].

Přebytečná energie je vyzářena ve formě fotonu o vlnové délce 10,6 μm . Aby byla v CO₂ laseru zajištěná neustálá inverze populace na horní hladině E₂, je

nutné zajistit přívod energie do systému ve formě doutnavého výboje. Dále musí být zajištěna depopulace dolní energetické hladiny, což je uskutečněno prostřednictvím srážek CO₂ s molekulami helia, které přijatou energii odvádí díky své dobré tepelné vodivosti ze systému ve formě tepla. [1,6]

Na rozdíl od laserů s vlnovou délkou 1 μm, u kterých je přenos paprsku veden optickým kabelem, je u CO₂ laserů paprsek veden pomocí zrcátek, což přináší komplikace při konstrukci stroje i jeho samotném provozu. Nejznámějšími světovými výrobci laserů jsou firmy Coherent, Rofin, Trumpf a Synrad. [10]

1.2 Typy CO₂ laserů

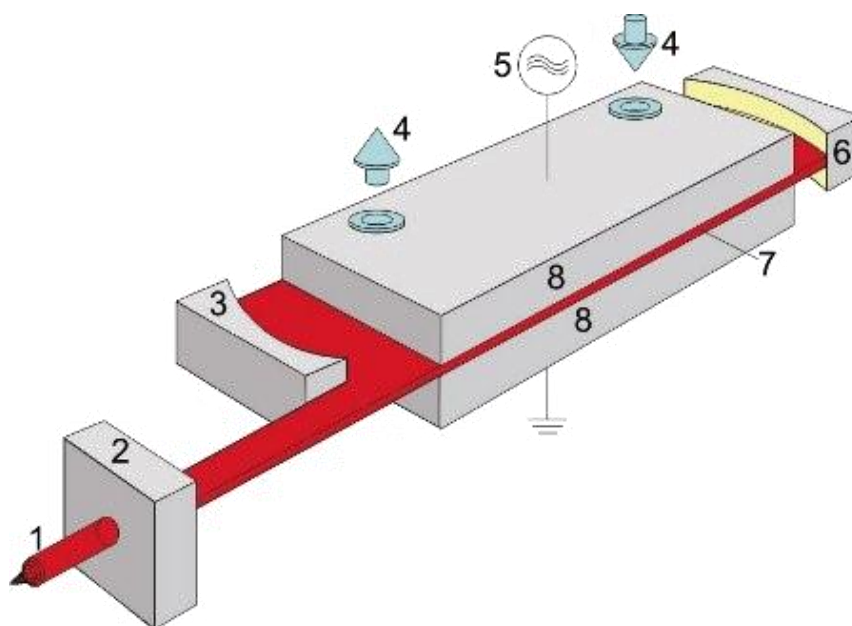
V průmyslu se používají lasery buzené buď radio-frekvenčně (RF) nebo elektrickým DC výbojem. Z hlediska uzavřenosti rezonátoru se dělí na tzv. sealed off lasery s hermeticky uzavřeným rezonátorem a na tzv. průtočné lasery, kdy plyn rezonátorem neustále proudí (což je nutné u vysokých výkonů ~10 kW). Do výkonů 5 kW jsou nejčastěji používány RF CO₂ lasery (difúzně chlazené, RF buzené). Buzení aktivního plynu se provádí RF vlněním, které probíhá mezi dvěma elektrodami, jež současně, díky své velké ploše, zajišťují i difúzní chlazení plynu. Tento typ laseru se nazývá SLAB laser. [10]

Lasery s pomalým prouděním (Slow axis laser) - jsou nejstarším typem CO₂ laserů. Aktivní plyn proudí během výboje pomalu rezonátorem a ochlazuje se převedším o stěnu dutiny. Výboj vzniklý v rezonátoru má s proudícím plynem společnou osu stejně tak, jako se svazkem fotonů vystupujícího ze zařízení. Tyto lasery dosahují stálého a vysoce homogenního paprsku, ale výkon laseru je poměrně malý (řádově 50 W na 1 m trubice), protože je limitovaný možnostmi chlazení. Provoz je možný jak pulzní, tak i kontinuální. [8, 9]

CO₂ lasery s rychlým prouděním (Fast axis flow) - v těchto laserech zajišťují oběh plynu vysokou rychlostí dutinou laseru vzduchové pumpy nebo dmychadla. Plyn je ochlazován v tepelném výměníku, který je součástí cirkulačního systému. Elektrické napájení je buď stejnosměrné nebo vysoce frekvenční střídavé (u RF - excitovaných laserů). Tento typ laserů má velmi dobrou kvalitu paprsku a může dosahovat výkonu až 20 kW (500 - 1000 W na 1 m rezonátoru). [8, 9]

CO₂ lasery s příčným prouděním (Transverse flow) – mají osu paprsku kolmou k výboji i ke směru proudění plynu, což přináší kompaktní konstrukci. Jsou chlazené cirkulací laserového plynu. Dosahují největších výkonů, avšak na úkor kvality paprsku. V průmyslu se používají převážně ke svařování a tepelným úpravám. Jejich výkon dosahuje až 50 kW (1 kW na 1 m rezonátoru). [8, 9]

SLAB lasery – zde je aktivní plyn excitovaný v úzkém prostoru mezi dvěma širokými chlazenými elektrodami. Na obr. 1.2 je vyobrazeno schéma, na kterém je zřetelná konstrukce rezonátoru. Široký výboj a efektivní odvod tepla díky rozměrům elektrod znemožňuje vysoký výkon, avšak systém je velmi stabilní a dosahuje vysoké kvality paprsku. [8, 9]



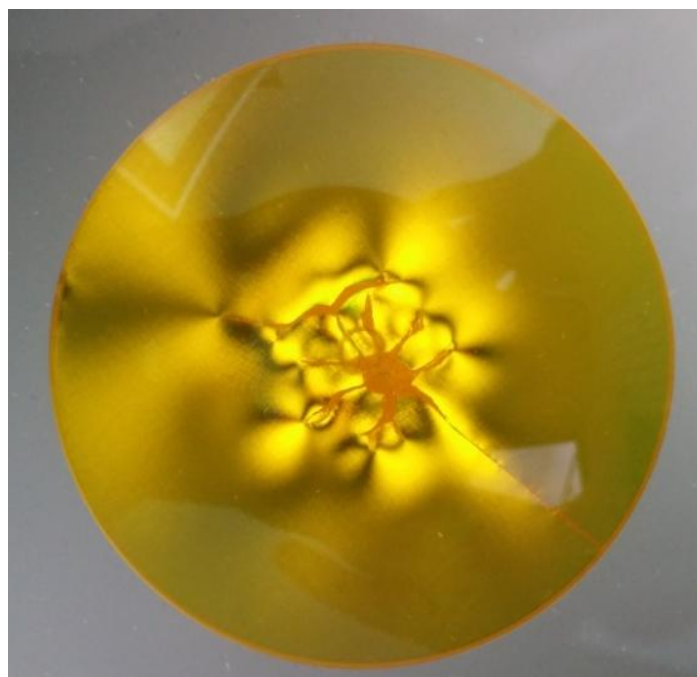
Obr. 1.2 Schéma SLAB laseru: 1 – výstupní svazek, 2 – tvarovač svazku, 3 – výstupní zrcadlo, 4 – chlazení, 5 – RF buzení, 6 – zadní zrcadlo, 7 – RF excitační výboj, 8 – velkoplošné elektrody [10].

Nízkovýkonné lasery (do 6 kW) - tento typ laseru má stálý rezonátor, zpravidla ve formě skleněné trubice naplněné aktivním plynem. Celé těleso trubice je ze skla. Elektrody a zrcátka jsou zatavena uvnitř. Výstupní zrcátko je polopropustné pro infračervené záření vlnové délky 10,6 μm . [8, 9]

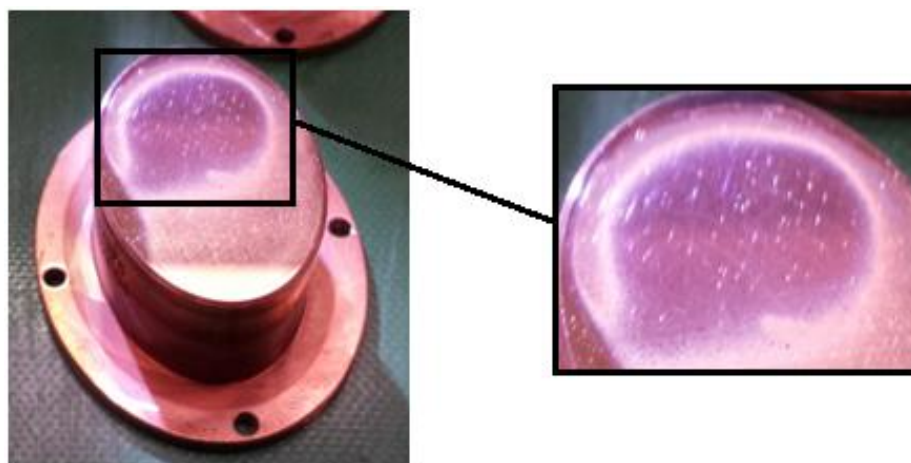
1.3 Ztráta výkonu CO₂ laseru

Ke ztrátě výkonu CO₂ laseru dochází z několika příčin. Může to být špatné nastavení optické cesty systému nebo opotřebenosti či vada některé z komponent. Při špatném nastavení optické cesty, tedy seřízení usměrňovacích zrcátek, se ztrácí značný výkon kvůli rozptýlení paprsku během cesty k hlavě laseru. Optická cesta musí být pokud možno s minimálními ztrátami. Pravidelnou kontrolou povrchu zrcátek i čočky lze předejít poklesu výkonu laseru. Povrch zrcátek může být napálený, a proto se odrazivost razantně snižuje. Paprsek se mění pouze na teplo na povrchu zrcátka. Při nedostatečném odvodu zplodin od hlavy laseru dochází k znečištění povrchu čočky. V tomto případě pak není čočka zcela propustná, což je příčinou zahřívání, ztráty výkonu a navíc nelze výsledný paprsek přesně fokusovat. Působení vysoké teploty může poškodit či zničit čočku nebo zrcadlo, viz obr. 1.3 a obr. 1.4. [11]

Jeden z dalších faktorů snižující účinnost laseru z hlediska zdroje záření je teplota trubice, která se musí udržovat konstantní v rozmezí 24-28 °C. Toho se docílí vhodným chlazením - u nízkých výkonů pouze vzduchem, u vyšších je pak nutné chlazení kapalinou. Při překročení vhodné teploty může dojít k deformaci zrcátek v rezonátoru a vychýlení dráhy fotonů, které se pak budou odrážet mimo směr osy rezonátoru. Mimo ztráty výkonu dochází při nevhodné teplotě i ke snižování životnosti trubice. K zásadnímu snížení výkonu dojde při zanesení trubice řasami, vodním kamenem nebo nečistotami. Proto je nutné mít chladicí systém uzavřený, používat destilovanou vodu s vhodnými přísadami proti vzniku vodních organismů nebo speciální chladicí kapaliny, dodávané výrobcem a servisními firmami. Daná problematika byla konzultována s Ing. Stanislavem Tkáčem 16. 3. 2016.



Obr. 1.3 Prasklá čočka laseru [28].



Obr. 1.4 Poškozené měděné zrcadlo [28].

2 MOŽNOSTI POUŽITÍ CO₂ LASERŮ V PRŮMYSLU

V 70. letech bylo nemyslitelné, že by laserová technologie byla využívána v průmyslu, avšak opak je pravdou. V dnešní době se neustále rozšiřuje napříč většinou průmyslových oborů. Díky specifickým vlastnostem s ní lze dosáhnout špičkové kvality výrobků a zásadního zefektivnění výroby. Laser lze použít při svařování, povrchové kalení, mikrovrtání, gravírování, značení, ale také u aditivních technologií rapid prototyping při spékání prášků. Hlavní předností CO₂ laserů je obrábění a popis nekovových a křehkých materiálů jako je plast, pryž, sklo a keramika.

2.1 Dělení materiálu

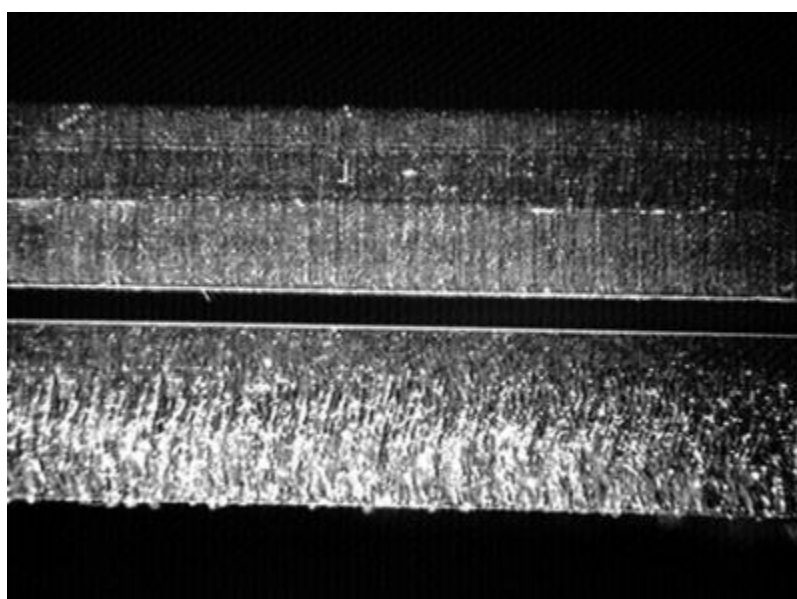
Při obrábění dochází k odstranění materiálu tenkým paprskem silného monochromatického světla. Díky malé ploše, na kterou paprsek působí, dochází k zahřátí v místě řezu na vysokou teplotu (až 10⁴ °C). Z technologického hlediska existují dvě metody dělení. První je dělení materiálu řezáním, které se používá pro dělení plechů a druhou je vytvoření drážky na povrchu materiálu a následný řízený lom. Tato metoda se používá u křehkých materiálů, jako je keramika nebo sklo. [2] Podle mechanismu ubírání materiálu se řezání dále dělí na:

Řezání pálením, kdy je materiál ohřát na zápalnou teplotu a spolu s asistenčním reaktivním plynem (O₂) shoří při exotermické reakci. Vzniklé teplo dodává energii k procesu řezání. Tato metoda se používá pro řezání běžných konstrukčních ocelí, protože lze dosáhnout až dvojnásobné řezné rychlosti proti ostatním metodám. [12, 13]

Tavné řezání má nejnižší požadavky na výkon, protože dochází pouze k natavení materiálu. Ten je v kapalném stavu následně odふうován asistenčním inertním plynem (dusík, argon) z místa řezu. [12, 13]

Sublimační řezání spočívající ve vypařování samotného materiálu. Toho je docíleno vysokou intenzitou záření a přesným fokusováním. Páry vypařeného materiálu musí být odふうovány asistenčním plynem stejně jako u tavného řezání. [12, 13]

Ve většině případů dochází při řezání laserem ke kombinaci všech tří procesů. Dělení materiálu je velmi přesné s kvalitou řezu pohybující se v rozmezí $R_a = 3,6 - 12,5$. Při vrtání lze vyvrtat otvor o minimálním průměru 0,2 mm s hloubkou až 50 mm. Pro začátek řezu není nutné předvrtání, což šetří strojní čas a ve spojení s CNC přináší vysokou produktivitu práce. Avšak u materiálů, u kterých dochází k zakalení během procesu obrábění může nastat problém při následném řezání závitů. Na obr. 2.1 lze srovnat rozdíl v kvalitě řezu vláknovým a CO_2 laserem. [12, 13, 14]



Obr. 2.1 Srovnání kvality řezu u plechu tloušťky 3mm mezi CO_2 laserem (nahore) a vláknovým laserem (dole) [15].

2.2 Značení

V průmyslu se pro značení využívají lasery s nižším výkonem, v řádech desítek wattů. Umožňují velmi přesné a rychlé značení, avšak pouze na omezené ploše, protože u značkovacích CO_2 laserů je paprsek vychylován na místo popisu dvojicí zrcátek umístěných v hlavě laseru. Tato konstrukce je výhodná z toho důvodu, že dochází k minimálním mechanickým pohybům stroje. Jsou eliminovány otřesy a značení je tak přesnější a jemnější. Dvojice vychylujících zrcátek v hlavě umožňuje značení statické nebo dynamické, kdy je popisovaný výrobek v pohybu například na dopravníkovém pásu. Rychlost značení dosahuje desetinásobné

hodnoty v porovnání s řezacími lasery. Jemnost značení dosahuje hodnot okolo 0,02 mm, což umožňuje psát text lidským okem nečitelný. Vlnová délka 10,6 μm je vhodná pro značení organických materiálů (dřevo, kůže), ale je vhodná i na sklo a kovy. Laserový paprsek mění částečně strukturu značeného materiálu, nicméně část materiálu je odpařována. Značení je tak permanentní a dobře viditelné. Hlavní předností této technologie jsou nízké provozní náklady, protože není nanášen na povrch žádný spotřební značící materiál. Jedinou položkou nákladů tak zůstává elektrická energie. Objekt není třeba upínat, protože na něj nepůsobí žádná mechanická síla a mimo odváděných par nevzniká žádný odpad. [6, 13, 16]

2.3 Gravírování

Gravírování laserem funguje na stejném principu jako značení, avšak proces probíhá za vyšších výkonů, aby docházelo k většímu úběru materiálu a jeho následnému vypařování. Možnosti aplikace a výhody jsou také shodné se značením. Pouze náklady na elektrickou energii jsou úměrně vyšší s ohledem na vyšší výkon.

2.4 Leštění povrchů

Leštění povrchu laserem přinese zásadní obrat, jelikož do posud se k leštění vždy používaly mechanické postupy. K leštění se používají lasery buď v trvalém, nebo pulzním režimu. CO₂ lasery dosáhly dobrých výsledků především při leštění skla (optických systémů) a titanových slitin (implantátů). Při leštění dochází k přetavení povrchové vrstvičky a tak lze dosáhnout velmi nízké drsnosti. Musí se však počítat s povrchovým napětím, ke kterému dojde při ztuhnutí přetavené vrstvičky. [17]

2.5 Rapid prototyping

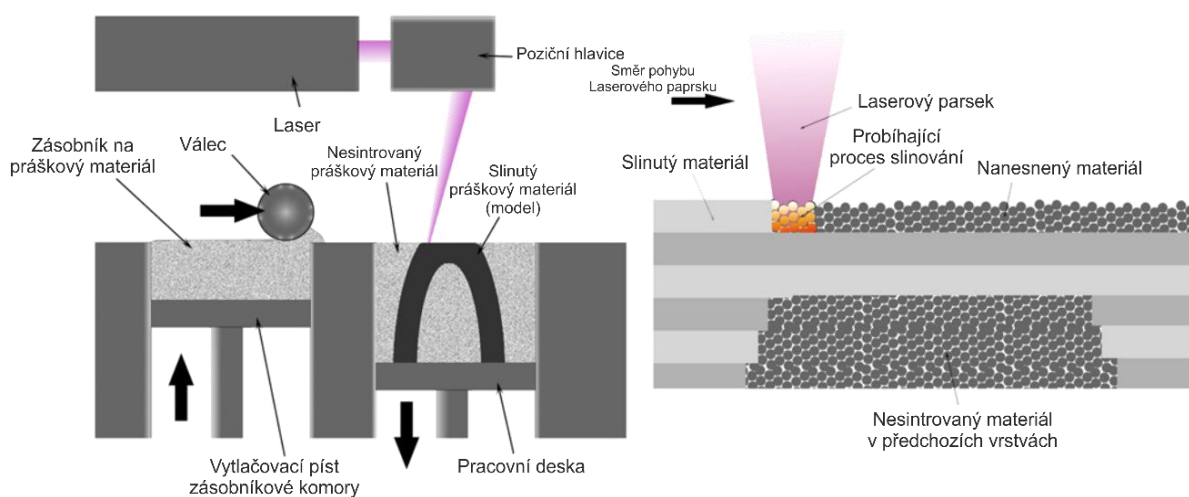
Technologie vhodná pro výrobu prototypů, protože k výrobě stačí CAD model a 3D tiskárna. Není nutné vyrábět formy či speciální obráběcí nástroje. Existuje několik 3D tiskáren pracujících na různých principech, v následujících podkapitolách jsou uvedeny dvě aditivní technologie, které využívají k tisku laser.

2.5.1 SLS - Selective Laser Sintering

SLS je proces aditivní výroby, jehož základním principem je spékání prášku, který je tvořen částicemi o vhodné velikosti (20 - 100 μm), pomocí CO₂ laseru o výkonu 50 - 200 W. SLS technologie dosahuje kvalit srovnatelných s konvečními

metodami výroby, avšak navíc dokáže vytvářet z kovu, plastu, pryže, keramiky a dalších materiálů velmi složité struktury. [18, 19]

Prášek je nanášen na vyhřívanou základní platformu v tenké vrstvě, kde je předeheřán na teplotu blízkou teplotě tavení. Následně je do něj naskenován požadovaný tvar lasem, jež je ovládám počítačem, ve kterém je uložen digitální model ve formátu STL. Prášek je paprskem taven a jednotlivá zrna musí být exponovaná po dostatečný čas, aby mohla být spečena. Během vystavení účinkům laseru vzroste teplota prášku nad bod skelného přechodu, po němž dochází ke vzájemnému splynutí přilehlých částic. Po osvětlení dané plochy, klesne stavěcí platforma o tloušťku jedné stavební vrstvy níže, nanese se další vrstva materiálu a takto se celý proces opakuje až do dokončení výrobku. Metoda je vyobrazena na obr. 2.2. Hlavní předností tohoto procesu, při němž je vytvářený model neustále obklopen zbytkovým práškovým materiálem, je eliminována potřeba dočasných podpor. Prášek, který nebyl spečen, se zpětně částečně recykluje. Dokončovací operace je nezbytnou součástí výrobního procesu. Je nutné tryskání, broušení a čištění. [19, 20, 21]



Obr. 2.2 Schéma SLS [22].

2.5.2 DMLS - Direct metal laser sintering

Tato aditivní technologie funguje na stejném principu jako SLS, avšak pracuje pouze s velmi jemnými kovovými prášky a výkonnějším laserem (200 - 400 W). Dávkovací zařízení nanese potřebné množství prášku na jednu vrstvu a rameno s keramickým břitem ho rovnoměrně rozprostře na povrch ocelové platformy dle zvolené tloušťky vrstvy. V místě dopadu laserového paprsku je kovový prášek lokálně roztaven a následně tuhne do pevného stavu. Odvod tepla je velmi rychlý díky ocelové platformě, která odvádí teplo procesu tuhnutí. [23, 24]

Technologie DMLS přináší velmi přesnou a rychlou výrobu fungujících prototypů s minimálním odpadovým materiálem, nicméně patří k nejdražším technologiím kvůli energetické náročnosti a ceně používaných materiálů. Lze použít materiály z martenzitické nebo korozivzdorné oceli, titanu nebo směsi bronzového prášku. Proces DMLS umožňuje výrobu několika tvarově odlišných výrobků zároveň. Pracovní komora bývá zpravidla naplněna dusíkem, aby byl díl ochráněn před oxidací se vzduchem. [24, 25, 26, 27]

3 DOSTUPNÁ ASISTENČNÍ ZAŘÍZENÍ

Vhodnou dostupnou alternativou pro chlazení nízkovýkonných skleněných CO₂ trubic na českém trhu je chladič CW-3000 za cenu 10 990 Kč. Stejný si lze objednat na zahraničních internetových obchodech nebo přímo u výrobce za podstatně nižší pořizovací cenu. Výslednou cenu může ovlivnit i cena za doručení, která se u různých dodavatelů výrazně liší, a především clo. I přesto je výsledná cena nižší, řádově o jeden až dva tisíce korun, než na českém trhu.

3.1 CW - 3000AG

Zařízení je výrobcem definováno jako průmyslový chiller viz obr. 3.1, což je mylné označení, protože se jedná pouze o chladič, o čemž svědčí absence topného tělesa. Je určen pro chlazení jedné 80 W CO₂ trubice, která je chlazená vodním chladicím oběhem. Teplotu chladicího media není možné manuálně regulovat dle specifických požadavků, protože je úzce spjata s teplotou okolního prostředí. V tabulce tab. 3.1 jsou základní parametry zařízení. [29]



Obr.3.1 CW-3000 [30].

Tab. 3.1. Technické specifikace zařízení [29].

Napětí	AC 220 V
Frekvence	50/60 HZ
Proud	0,45 A
Kapacita nádrže	9L
Vyzařovací výkon	50 W/°C
Přívod a vývod	Mosazný hadičník Ø10 mm
Maximální průtok	10 L.min ⁻¹
Rozměry	490 x 270 x 380 mm

Konstrukce zařízení je poměrně jednoduchá, nicméně v ní lze nalézt značné nedostatky. Proces chlazení je realizován hliníkovými trubkovými výměníky připojenými do oběhu paralelně, na které je přiváděn vzduch ventilátorem ze zadní části přístroje. Přívod vzduchu není opatřen filtrem, tak lze předpokládat, že při provozu dojde k brzkému zanesení celého zařízení prachem s následným snížením účinnosti chlazení, jak lze vidět na obr. 3.2. Právě to lze považovat za velmi závažný nedostatek s ohledem na náchylnost CO₂ trubic na překročení povolených teplot. Vzduch po průchodu tělesem narazí do zásobní nádržky a následně je odváděn prolisy ve stěnách přístroje. Na předním panelu je umístěn vypínač, display znázorňující aktuální teplotu a dvě kontrolky pro stav normální a stav chybový. V zadní straně je konektor pro přívodní kabel, vstup a výstup chladicího oběhu a vypouštěcí zátka.



Obr. 3.2 Znečištěný vnitřní prostor přístroje [31].

Zařízení disponuje varovným systémem, který operuje s informacemi o teplotě, průtoku a hladině. Průtok je indikován prostřednictvím průtokového čidla umístěného za čerpadlem na výstupu ze zařízení. Teplota je stanovována z odporového teplotního čidla a hladina pomocí plováku; oboje je umístěno v zásobní nádržce na vodu. Při překročení provozních podmínek je tento stav indikován varovným světlem a zvukovým signálem. Pomocí konektoru v zadní části lze toto upozornění propojit i do centrálního systému řízení výroby.

4 NÁVRH KONSTRUKCE

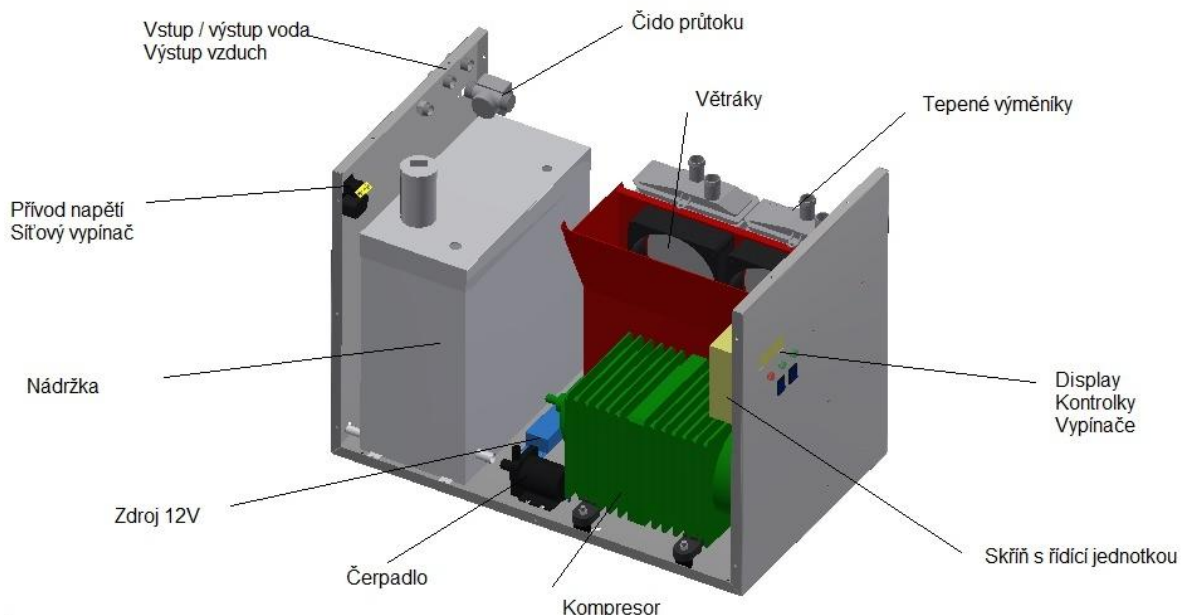
Konstrukce se odvíjí převážně od požadavků na daný přístroj, a dále se snaží zohlednit jednoduchost výroby, přímo spjatou s náklady na finální výrobek. Naše zařízení má zajistit chlazení skleněné trubice CO₂ laseru a zároveň distribuovat asistenční plyn ve formě stlačeného vzduchu do místa řezu. Obě funkce jsou pro provoz laseru nezbytné, a proto se nabízí tyto sloučit do jednoho zařízení.

Hlavním sledovaným faktorem je teplota trubice, která nesmí, z důvodu ztráty výkonu či možnému poškození, překročit rozmezí provozní teploty. Chladicí okruh je tvořen samotnou trubicí, v níž dochází přes skleněnou stěnu k tepelné výměně mezi trubicí s oxidem uhličitým, v níž vzniká výboj a proudící vodou, která je chladícím médiem. Následuje výměník tepla zajišťující ochlazení protékající vody pomocí rychlého proudění vzduchu a medium je následně odvedeno do akumulační nádržky o dostatečném objemu. Odtud je pomocí čerpadla studená voda hnána zpět do trubice.

S ohledem na bezpečnost a riziko možných škod je nutný varovný systém, monitorující teploty v oběhu a stav kapaliny. Ten je realizován soustavou čidel (teploty, průtoku a hladiny) a řídicí jednotkou, která indikuje závadu světelnou a zvukovou signalizací a také chybovým kódem na display přístroje. Chybový kód specifikuje místo konkrétního problému. Při připojení přístroje kabelem k ovládacímu systému laseru je navíc při překročení provozních podmínek laser vypnut. Přívod stlačeného vzduchu je realizován nízkotlakým bezolejovým kompresorem, vhodným pro stálý chod s velkým sacím výkonem.

4.1 Konstrukce

Hlavní částí konstrukce je nosná skříň, v níž jsou namontovány všechny komponenty tak, aby byly rozměry výrobku co nejmenší. Těžké součásti, jako jsou kompresor a nádržka, jsou umístěny na dno skříně. Pod kompresorem jsou umístěné silentbloky k eliminaci vibrací. Na obr. 4.1 je schéma zařízení, z kterého je zřetelné rozmístění jednotlivých součástí.

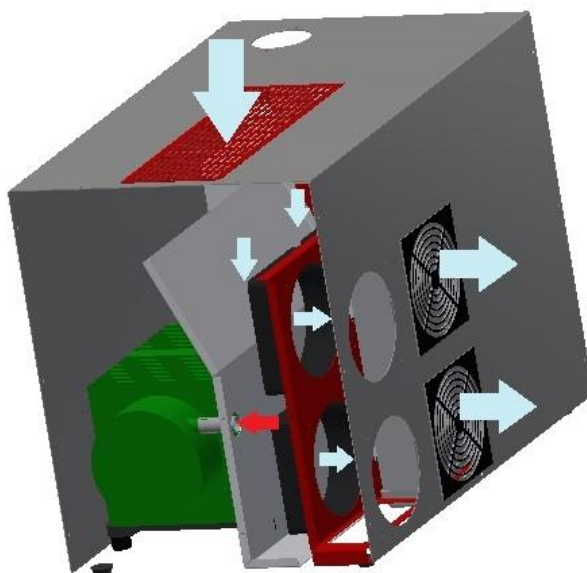


Obr. 4.1 Schéma zařízení.

Cirkulace vzduchu je realizovaná dvěma páry ventilátorů, každý pár pro jedno topné těleso. Vzduch je nasáván otvorem v horním krytu přes mřížku, pod kterou je umístěn filtr třídy G4. Mřížka je připevněna šrouby ke krytu tak, aby ji mohl uživatel snadno odmontovat a vyměnit filtr. Plechová příčka zajišťuje přímý přívod vzduchu k ventilátorům, které vzduch vyfukují ven přes žebra topného tělesa a současně tvoří i bariéru před sáláním tepla z kompresoru. Cirkulace vzduchu je zřejmá z obr. 4.2, kde lze vidět proudění vzduchu.

Akumulační nádržka má víko na dolévání vody, vypouštěcí ventil a je v ní umístěno tepelné a hladinové čidlo. Její objem činí 11,5 L. Spojení chladícího okruhu v zařízení bude realizováno gumovými hadicemi spolu s plastovými fitinkami a upevňujícími sponami. Topná tělesa, připevněná na plechový držák spolu s ventilátory, budou zapojena paralelně, z toho důvodu bude přívod rozdělen spojkou ve tvaru ypsilon. Toto zapojení zajišťuje větší chladící účinek díky pomalejšímu toku média. Vývody se opět sjednotí do jedné hadice, vedoucí do horní části nádržky. Čerpadlo nasává vodu ze spodní části nádržky, kde má voda nejnižší teplotu, a přivádí ji k výstupnímu hadičníku, před kterým je umístěno čidlo

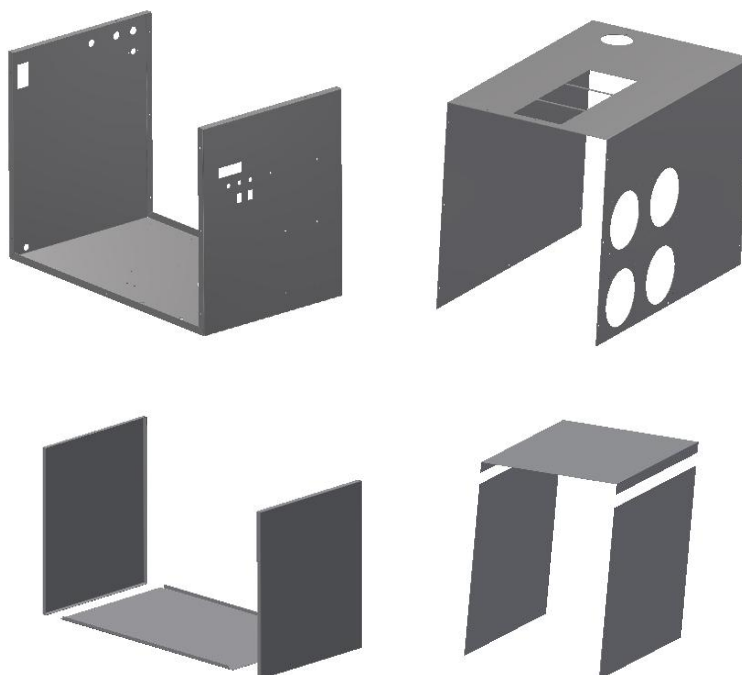
průtoku. Kompresor nasává vzduch z prostoru přívodu vzduchu k ventilátorům, čímž je zajištěn přívod již filtrovaného vzduchu. Tím je zajištěna jak prevence před znečištěním kompresoru, tak i eliminována možnost dopravení nečistoty do místa řezu, kde by mohlo dojít k snížení kvality řezu v důsledku hoření nečistoty.



Obr. 4.2 Cirkulace vzduchu: nasávání kompresoru (červená šipka), chladící vzduch (modré šipky).

4.1.1 Varianty konstrukce skříně a krytu

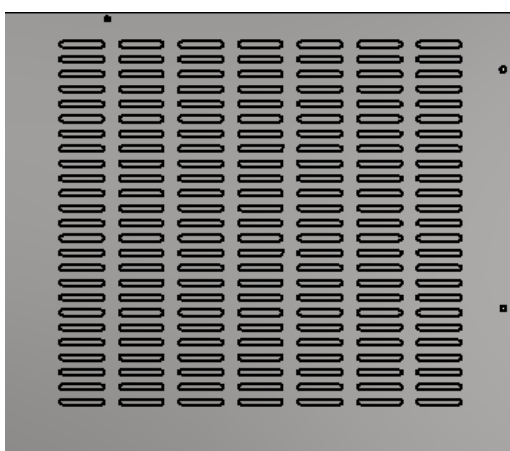
První variantou je výroba součástí z jednoho rozvinu, což zajišťuje značnou pevnost, absenci zbytečných spojů a především toto řešení přidává vizuální stránce. Z této varianty jsme vycházeli, avšak během poptávky možné výroby jsme se setkali s problémem vyrobitelnosti u některých firem, protože tyto nedisponují speciálními nástroji, umožňujícími ohýbání požadovaných profilů. Proto byla navržena i varianta alternativní, jež zohledňuje zjednodušení výroby ve smyslu požadavků na nástroje. Skříň v ní je vyrobena ze tří částí, které jsou k sobě nanýtovány tak, aby tvořily jeden tuhý prvek. Naopak koncepce krytu počítá s rozdělením jeho celku na tři dílčí části (dva boční a jeden horní kryt). Připevnění těchto dílů je uvažováno stejné jako v první variantě, tudíž samořeznými šrouby do předem připravených děr. Srovnání variant je na obr. 4.3.



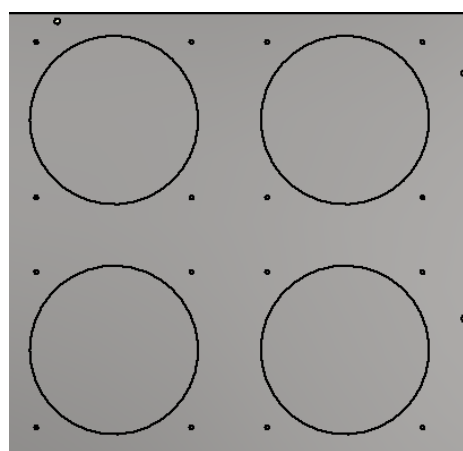
Obr. 4.3 Možnosti konstrukce skříně s ohledem na vyrobiteľnosť.

Dalším řešeným aspektem konstrukce krytu byly větrací otvory. Zde se nabízí dvě možnosti (obr. 4.4). První možností je v místě odvodu vzduchu vypálit velké otvory společně s dírami na šrouby, které by sloužily k připevnění krycích mřížek. Další, vzhledově přijatelnější varianta, je vypálení nebo vysekání mřížky přímo do stěny krytu. K tomuto řešení není potřeba žádný spojovací materiál, ani krycí mřížky, avšak průchod vzduchu není optimální.

Varianta A



Varianta B



Obr. 4.4 Varianty větracích otvorů.

4.2 Teplotní bilance

Pro stanovení výstupní teploty z trubice laseru za předpokladu zjednodušení trubice na model tepelného výměníku, lze použít první zákon termodynamiky. Vztah (4.1) podělíme časovou derivací a získáme vztah (4.2), kde mají již veličiny jiný smysl, který je zřejmý z přepsání do tvaru (4.3). Kde nám P reprezentuje výkon trubice a \dot{m} hmotnostní tok, který lze dopočítat ze známého průtoku, určeného čerpadlem a hustoty vody.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (4.1)$$

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T \quad (4.2)$$

$$P = \dot{m} \cdot c \cdot (t_{\text{out}} - t_{\text{in}}) \quad (4.3)$$

Kde: Q [J] - teplo,
 P [W] - výkon,
 \dot{m} [kg/s] - hmotnostní tok,
 c [J/kg K] - měrná tepelná kapacita,
 t [°C], T [°K] - teplota.

Nyní si vyjádříme výstupní teplotu a finální vztah (4.4) může sloužit k zhodnocení vhodnosti chlazení pro jednotlivé výkony trubice.

$$t_{\text{out}} = \frac{P}{\dot{m} \cdot c} + t_{\text{in}} \quad (4.4)$$

4.3 Analýza konstrukčního provedení vzhledem k výrobě

Pro vyrobení našeho zařízení je nutné spolupracovat s více firmami a především s mnoha dodavateli jednotlivých součástek, které jsou při výrobě použity (přehledný výpis v kapitole ekonomického zhodnocení). Vhodným výběrem lze pak dosáhnout nižší výrobní ceny. Práce se zaměřuje na výrobu plechových dílů, které budou vyráběny v kooperaci s firmou, jenž nabídne nejvýhodnější cenovou nabídku. Jednotlivá elektrická zařízení, která jsou koupena samostatně, budou

zapojena do systému a připojena k přívodu elektrické energie. Toto zapojení bude realizováno spolupracující firmou a v kalkulaci je zohledněno jednou položkou. Položka obsahuje náklady na práci i na elektromateriál; v našem případě jde především o propojovací dráty a svorkovnice. Kompletace je uvažována jako výrobní proces, jenž si budeme jako výrobci zajišťovat sami, protože jsou zde minimální nároky na vybavení.

Z navrhovaných konstrukčních provedení krytu a skříně byla vybrána varianta v celku (z jednoho rozvinu) a to na základě vyjádření firmy, která deklarovala vyrobiteľnost poptávaného dílu. Toto řešení přináší snadnější kompletaci bez zbytečných spojů i nižší výrobní náklady, protože je použito vždy pouze jednoho ohybu pro roh oproti alternativní variantě, kdy je mimo ohyb navíc proveden řez celou šířkou rozvinu. Celková uspořená délka dělení materiálu činí přibližně 1800 mm. Větrací otvory byly voleny dle vhodnosti pro dané použití a nákladů na výrobu. Například cena varianty A je při výrobě laserem až trojnásobná oproti variantě B. Při použití kombinovaného stroje se rozdíl v ceně výroby jednotlivých variant snižuje, avšak s přihlédnutím na srovnatelné náklady (zahrnující cenu mřížek a spojovacího materiálu) a lepší průchodnost vzduchu, byla zvolena varianta B, tedy velké kruhové otvory.

5 NÁVRH VÝROBY PLECHOVÝCH SOUČÁSTÍ

5.1 Materiál

Plechové součásti jsou vyrobeny z korozivzdorného plechu, který zajistí pevnost skříňě. Tento materiál nepotřebuje ochranný nátěr a díky svému vzhledu je často požíván jako pohledový. Nicméně pro zlepšení vizuální stránky bude plech z vnější strany směrově obroušen pro dosažení lesku.

Korozivzdorné oceli patří mezi kovové materiály, které se vyznačují typickým chemickým složením. Obsahují zpravidla více než 12 % chromu (někdy až 30 %), dalšími legurami jsou hlavně nikl (až 30 %), mangan (až 24 %) , Mo, Cu a další, jako Si, Al, Ti, Nb, Ta, W, V a N, řádově v jednotkách procent. Charakteristické jsou nízké obsahy síry a fosforu, většinou max. 0,03 %. Obsah uhlíku je obvykle v rozmezí 0,01 - 0,1 %, u martenzitických korozivzdorných ocelí 0,2 - 1,0 %. Korozivzdorné oceli patří do skupiny ušlechtilých legovaných ocelí, u nichž je zaručováno přesné chemické složení, speciální podmínky výroby a specifické podmínky zkoušení. Vyrábějí se tvářením, litím a práškovou metalurgií. [32]

Zvolili jsme korozivzdornou ocel 1.4301, která má označení chemického složení X5CrNi18-10, což znamená, že obsah uhlíku je do 0,05% a obsah chromu je 18% a niklu 10%. Tabule plechu je jednostranně broušená na hrubost zrna 240. Pro technologický proces řezání laserem jsou rozhodující tyto tepelně-fyzikální vlastnosti materiálu:

- reflexivita řezaného materiálu,
- hustota materiálu,
- tepelná kapacita,
- skupenské teplo tání,
- skupenské teplo výparné,
- tepelná vodivost,
- teplota tání,

- teplota vypařování,
- chemická energie vzniklá při reakci řezaného materiálu s kyslíkem,
- elektrický odpor materiálu. [33]

5.2 Volba výrobního stroje

Stroje na výrobní proces jsou voleny dle dostupného strojového vybavení námi vybrané firmy a zohledňují vhodnost pro konkrétní výrobní proces.

5.2.1 TruMatic 6000

Tento robustní univerzální kombinovaný stroj má vysekávací i laserovou koncepci. Je rychlý a je vhodný i pro kombinované obrábění. Výkon laseru je přizpůsoben konkrétnímu materiálu. Největší rozměr plechové tabule, který lze zpracovávat na tomto stoji, je 3500 × 1 600 mm. Maximální tloušťka zpracovávaného materiálu je 8 mm. Poskytuje možnost děrovacích, dělicích a tvářecích operací. Maximální velikost střížné síly, kterou vykonává vysekávací hlava stroje, je 220 kN. Stroj může používat až 19 různých nástrojů, které si automaticky mění. [34]



Obr. 5.1 Trumatic 6000 [34].

5.2.2 TrumaBend V320

Pro zhotovení ohybů byl zvolen hydraulický ohraňovací lis, který je řízen CNC ve dvou osách dorazu (X, R). Robustní rám stroje zajišťuje využití celé ohraňovací

délky a spolu s kvalitním hydraulickým pohonem lisovací sílu 230 kN. TrumaBend V320 (obr. 5.2) má širokou aplikační flexibilitu díky vysoké vestavěné výšce. Ohraňovací délka činí 3060 mm.



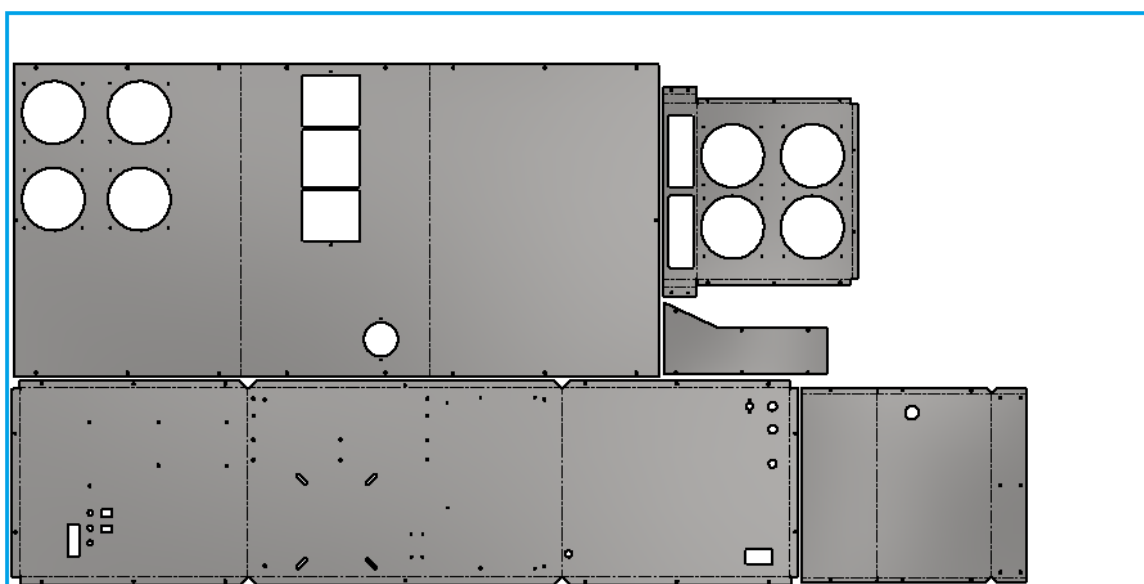
Obr. 5.2 TrumaBend V320 [35].

5.3 Technologický postup

Proces začíná již u samotného návrhu konstrukce, který je realizovaný v programu Autodesk Inventor Professional 2016. V prostředí programu byl vytvořen 3D model celého zařízení. Mimo plechové díly byly vymodelovány i jednotlivé vnitřní součásti, aby bylo zcela zřejmé jejich rozmístění a především se dala přesně určit místa pro díry na šrouby či nýty pro kompletaci zařízení.

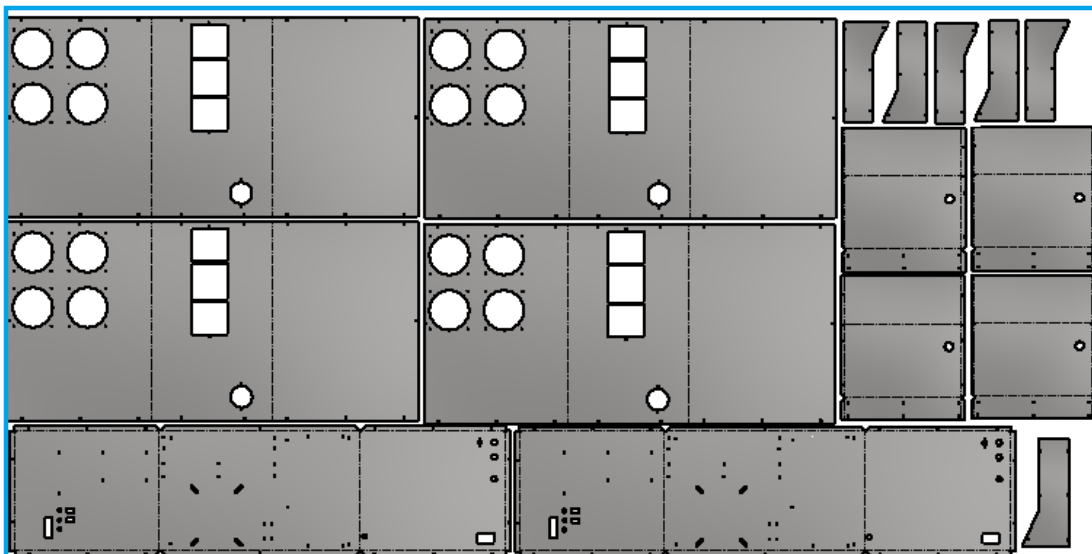
Při návrhu plechových dílů bylo využito speciální programové nabídky "Plech", která disponuje funkcemi zaměřenými na plechové díly například lem, profilový ohyb, razník, apod. Nejdříve byl vyhotoven 2D náčrt, který je následně zmíněnými funkcemi upravován do požadovaného tvaru. Program nabízí přesné nastavené dílčích parametrů, jako jsou např. poloměru ohybů, velikost nastřížení, šíři lemu a mnoho dalších. S ohledem na výrobní proces byl 3D model převeden to takzvaného rozvinu. Ten slouží jako podklad pro samotný proces pálení

a vysekávání, protože jej lze uložit ve formátu DFX. Tento formát je kompatibilní se softwary pro plošné obrábění, v kterých je vygenerován program obrábění. Technolog pak může měnit daný program dle specifických požadavků. V našem případě se jedná o jednoznačné rozlišení řezů realizovaných laserem a stříhů vyrobených sekáním. V rámci této fáze je vytvořen nástřihový plán tak, aby se dosáhlo co největší úspory materiálu a zároveň byla dodržena předepsaná orientace některých dílů vzhledem ke směru brusu. Nástřihový plán (obr. 5.3) je vytvořen pro zkušební kusy, respektive pro výrobu dílů prototypu. I přesto, že podíl odpadu není příliš velký, při sériové výrobě je vhodnější zvolit rozložení kombinující více stejných součástí na jedné tabuli a případně zvolit větší rozměry polotovaru (obr. 5.4) do maximální přípustné velikosti 3500 × 1600 mm dané strojem.



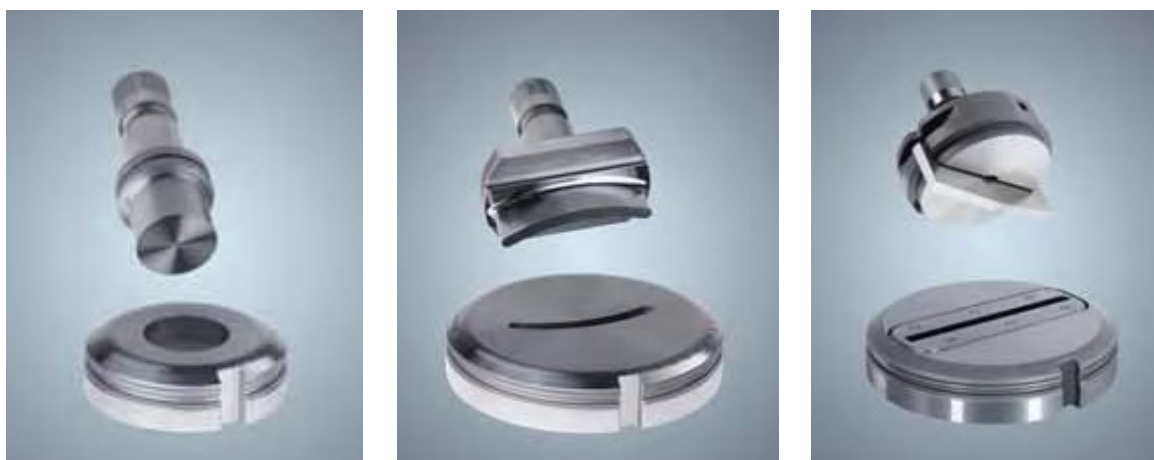
Obr. 5.3 Nástřihový plán pro prototyp (tabule 2000 × 1000 mm).

Rozdělení dělicích metod pro jednotlivé tvarové otvory je voleno se zřetelem na požadovanou kvalitu řezu, respektive stříhu na konkrétní díl. U vnitřních dílů není požadavek na kvalitu tak vysoký. Dále se zohledňuje dostupnost děrovacích nástrojů pro daný prvek.



Obr. 5.4 Možnost nástřihového plánu při sériové výrobě (tabule 3500 × 1500 mm)

Všechny malé díry pro šrouby nebo nýty budou děrovány kruhovými děrovacími nástroji o různém průměru (obr. 5.5 a)). Větší kruhové otvory mohou být vyrobeny obloukovým nástrojem (obr. 5.5 b)), avšak pro daný kruh musí být nástroj s totožným poloměrem. Proto je zvolena metoda pálení laserem, stejně jako u oválných děr pro uchycení kompresoru, na které by musel být vyroben nástroj na zakázku, což je, při tak nízké sérii, značně neekonomické. Všechny díly budou stříhány střížným nástrojem (obr. 5.5 c)), který dosahuje dostačující kvality. Pouze horní kryt, kde jsou dělné hrany pohledové, bude pálen laserem.



Obr. 5.5 Děrovací nástroje: a) kruhový nástroj, b)obloukový nástroj, c) střížný nástroj [36].

Při navržení výrobního postupu ohýbání na ohraňovacím stroji je třeba brát v úvahu mnoho faktorů. Například při vícenásobném ohýbání je nutné zvolit vhodné pořadí ohybů, tak aby nebylo zabráněno výrobě některého z nich. Dále je nutné proces uvažovat tak, aby nedošlo k poškození již vyrobených ohybů. Vzhledem k tomu, že výchozí tabule plechu je broušena, je třeba opatrného zacházení, aby i přes ochrannou folii nedošlo k poškrábání dílů, čím by byl především díl krytu a skříně znehodnocen. Při návrhu se musí dbát i na bezpečnost obsluhy, proto je při výrobě větších součástí nutné, aby obsluhu tvořili aspoň dva pracovníci.

Z pěti vyráběných součástí jsou čtyři ohýbané a mimo jeden ohyb, který má 155° , jsou všechny ostatní ohyby pravoúhlé. Celkově se jedná o 20 ohybů různých délek. Dlouhá pracovní délka stroje nám umožňuje ohranit celou délku rozvinu během jedné operace. Také přináší možnost pomyslného rozdělení pracovní délky na více částí, v kterých jsou upnuty různé nástroje na jednotlivé ohyby. Tak lze bez zbytečných prostojů na výměnu nástrojů kontinuálně vyrábět na každý zdvih jiný ohyb. Popis postupu ohýbání jednotlivých součástí je uveden v příloze č.2. Tyto postupy nejsou jediné, protože díky vysoké variabilitě stojů a především nástrojů, lze vytvořit několik správných postupů.

6 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Prostřednictvím technicko-ekonomické zhodnocení budou komplexně zhodnoceny použité technologie, zvolený materiál a součástky. Dále bude tento materiál obsahovat srovnání cenových nabídek třech brněnských firem a v neposlední řadě i celkovou cenu za prototyp zařízení.

6.1 Technické zhodnocení

Pro danou výrobní technologii byl zvolen kombinovaný stroj TruMatic 6000, který spojuje dvě technologie (laserové řezání a vysekávání), a tak nabízí možnost výběru. Vysekávání a děrování plechu je vhodné především pro větší série, aby se dosáhlo návratnosti za nákup všech potřebných nástrojů. Za předpokladu, že na výrobu dílu bude potřeba jen malý počet nástrojů (např. pouze sekací a kruhový o jednom průměru) je technologie vhodná i na série menší. Naopak dělení laserem je vhodné především pro malou či kusovou výrobu, protože jediným použitým nástrojem je samotný laser. Odpadají tak náklady za nákup raznic, nicméně provozní náklady jsou vyšší a doba výrobního procesu je delší, proto se technologie využívá zpravidla pro výrobu tvarově složitých výrobků z plechu, kde by konvenční metody u takto malých byly nákladnější. Metoda je limitována tloušťkou a vysokou odrazivostí materiálu. V navrhovaném postupu je laserová technologie využita právě pro tvarově složitější otvory a dále pro získání kvalitnějšího povrchu řezu. Proces ohýbání je díky velké pracovní délce stroje rychlý a pro většinu ohybů může být použito stejných ohraňovacích nástrojů. Pouze u součástí krytu a skříně bude třeba nástroj speciální. Pokud by s tímto nástrojem firma nedisponovala náklady na výrobu by vzrostli o pořizovací náklady nástrojů. Pro zachování původní ceny výroby by série musela dosahovat řádů tisíců. Proto by bylo vhodnější přizpůsobit konstrukci dostupným nástrojům.

6.2 Ekonomické zhodnocení

Cenové nabídky, obdržené od námi oslovených firem, byly zhotoveny na základě poskytnuté výkresové dokumentace. Všechny ceny jsou uvedeny bez DPH a jsou zaokrouhleny na celé koruny. Dvě firmy počítaly náklady za předpokladu obrábění rozvinů pouze laserem a následným ohýbáním, avšak při použití stejné technologie i stejného materiálu byly výsledné ceny značně odlišné. Celková cena za všechny díly prototypu byla u firmy-A 7667 Kč. Pro srovnání firma-B nabídla

cenu o 56 % nižší a ta činila 3386 Kč. Nejlepší nabídku učinila firma-C, kde byla zvolena kombinovaná technologie pálení laserem a vysekávání, kterou jim umožňuje jejich stroj. Kalkulace je uvedena v tab. 6.1.

Tab. 6.1 Kalkulace výroby plechových součástí firmou-C.

Název dílu	Cena zkušebního kusu	Cena kusu při sérii 100 ks
Skříň	838 Kč	483 Kč
Kryt	905 Kč	569 Kč
Držák	729 Kč	268 Kč
Přepážka	395 Kč	181 Kč
Bočnice	189 Kč	66 Kč
Celková cena plechových dílů:	3 056 Kč	1 567 Kč

Jak je zřejmé z tab. 6.1 cena výrobku při malosériové výrobě značně klesá, protože fixní náklady spojené s technickou přípravou výroby jsou, na rozdíl od kusové výroby, rozloženy do každého kusu série. Při vyšších sériích by již cena tak markantně neklesala, jelikož je majoritně tvořena náklady za materiál a provoz stroje. Z uvedeného je zřejmé, že se zvolená technologie hodí pro středně velké série. Celková cena základního prototypu je tvořena součtem jednotlivých položek, které jsou všechny uvedené v levé části tab. 6.2. V pravé části tabulky jsou uvedené ceny při malé sérii, u které je však možné získat obchodní slevu na odebírané díly a materiál. Díky nižším nákladům na výrobu plechových součástí u malosériové výroby a získání slev na ostatní komponenty lze snížit cenu o 29,7 % (z 7953 Kč na 5594 Kč).

Tab. 6.2 Kalkulace nákladů při výrobě prototypu a malé série.

Kalkulace nákladů na výrobu prototypu		
Položky	Cena při 1 ks	Cena při sérii 100 ks
Čerpadlo	378 Kč	321 Kč
Zdroj 12V	380 Kč	323 Kč
Topné těleso 2ks	534 Kč	454 Kč
Plastová nádržka	400 Kč	340 Kč
Ventilátor 4ks	1 020 Kč	867 Kč
ARDUINO nano	360 Kč	306 Kč
Čidlo průtoku	66 Kč	56 Kč
Čidlo teploty	27 Kč	23 Kč
Čidlo hladiny	54 Kč	46 Kč
Zvukový alarm	19 Kč	16 Kč

Vypínač kolébkový	16 Kč	14 Kč
Display	40 Kč	34 Kč
Hadičky	90 Kč	77 Kč
Gumové nohy	20 Kč	17 Kč
Hadičnick 3ks	75 Kč	64 Kč
C14 IEC konektor s vypínačem	28 Kč	24 Kč
Přívodní kabel	30 Kč	26 Kč
Mřížka plastová 4ks	106 Kč	90 Kč
Stahovací pásy	20 Kč	17 Kč
Kontrolka 2ks	17 Kč	14 Kč
Konektor 6-pin	54 Kč	46 Kč
Platové fittingy	80 Kč	68 Kč
Spojovací materiál	50 Kč	43 Kč
Mřížka s filtrem	150 Kč	128 Kč
Kabeláž/instalace- kooperace	400 Kč	340 Kč
Uzávěr vypouštění	8 Kč	7 Kč
Záslepky	25 Kč	21 Kč
Plechové díly	3 056 Kč	1 567 Kč
Montáž	450 Kč	248 Kč
Cena celkem za zařízení (bez příslušenství):	7 953 Kč	5 594 Kč

Základní model může být rozšířen o jeden ze tří nabízených kompresorů (tab. 6.3). Ty se liší jak svým výkonem, tak i cenou. Při volbě libovolného výkonu je nutné započítat do nákladů povinné položky (elektromateriál, spojovací materiál, atd.), bez kterých by nebylo možné zařízení zkompletovat.

Tab. 6.3 Kalkulace příslušenství.

Typ kompresoru	Cena při 1 ks	Cena při sérii 100 ks
Hailea ACO 009E	1 888 Kč	1 510 Kč
Hailea ACO A300	2 138 Kč	1 710 Kč
Hailea ACO A500	2 882 Kč	2 306 Kč
Nutné doplňky		
Silentbloky	135 Kč	115 Kč
Spojovací materiál	10 Kč	9 Kč
Kontrolka	9 Kč	8 Kč
Kolébkový vypínač	16 Kč	14 Kč
Hadičnick	28 Kč	24 Kč
Hadice	20 Kč	17 Kč
Cena celkem:	218 Kč	185 Kč

7 ZÁVĚR

V rámci práce bylo navrženo zařízení, které slouží k chlazení nízkovýkonných laserů se skleněnou trubicí, může dodávat i asistenční plyn do místa řezu a je schopné konkurovat dnes prodávaným zařízením.

Konstrukce zařízení je navržena tak, aby poskytovala dostatečnou tuhost a odolnost. Vnitřní uspořádání komponent je vhodně zvoleno s ohledem na funkčnost a účinnost zařízení. Proudění vzduchu je usměrněno pomocí vodícího kanálu, jenž přivádí vzduch shora na výměníky tepla, které jsou ochlazovány čtveřicí ventilátorů a které současně tvoří ochrannou bariéru před sálajícím teplem z kompresoru. Vzduch je pak následně vyfukován pravou stěnou zařízení. Tohle řešení přináší možnost umístění zařízení levou stranou těsně ke stěně, protože tato stěna neobsahuje žádné funkční prvky a tím dosažení kompaktnějšího řešení. Zvolený korozivzdorný materiál dodává zařízení nejen zajímavý vzhled, ale především zajišťuje trvanlivost zařízení.

Navrhovaná varianta nebyla zatím realizována, avšak teoreticky dosahuje lepšího chladícího účinku a to díky zvětšení plochy tepelných výměníků, zvýšení průtoku vzduchu a přidání filtru pro efektivní čištění přiváděného vzduchu.

Při volbě výroby byly srovnávány možnosti výroby pomocí laseru a výroby na kombinovaném zařízení. Zvolená výroba na kombinovaném stroji Trumatic 6000 je, ve srovnání s druhou možností, o 10 % levnější, protože nabízí možnost vysekávání dílů, kdy je strojní čas kratší a operace levnější. Navíc je schopna výroby složitějších tvarů pomocí laserové hlavy, která může být použita při zvláštních požadavcích na kvalitu hran.

Celková cena nově navrženého prototypu činí dle kalkulace 7 953 Kč bez DPH a marže. Při sériové výrobě lze pak snížit náklady na plechové díly o 51,3 %, předpokládaná obchodní sleva na dodávané komponenty pak činí 15 %, takže výsledná cena zařízení se, při sérii sta kusů, sníží o 29,7 %. Předpokládaná tržní cena při sériové výrobě tak činí 8 391 Kč bez DPH a je tak nižší než u prodávaného zařízení CW-3000, které se prodává na českém trhu za pořizovací cenu 10 990 Kč bez DPH.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progresívne technológie*. 1. vyd. Košice: Viena, 2000. ISBN 80-7099-430-4
2. HUMÁR, Anton. *Technologie obrábění - 3. část* [online]. 2005 [cit.25-3-2016]. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf>.
3. PATEL C. K. N. *Continuous-Wave Laser Action on Vibrational-Rotational Transitions of CO₂* [online]. [cit.25-3-2016]. Dostupné z WWW: <<http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRev.136.A1187>>
4. Laserem nejen na obaly, ale i na vlastní potraviny. *TechMagazín* [online]. 2014, č. 2 [cit.25-3-2016]. ISSN 1804-5413 Dostupné z WWW: <http://www.techmagazin.cz/ke_stazeni/archiv/022014.pdf>
5. SLANÝ, Martin; DVOŘÁKOVÁ, Jana; DVOŘÁK, Jaromír. Obrábění na trochu jiný způsob (NMO). *TechMagazín*. 2015, č. 8, s. 15-18. ISSN 1804-5413
6. TŮMA, Petr; SMRČINOVÁ, Dagmar. Využití laseru při dělení a značení materiálů [online]. 2015 [cit.28-3-2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vyuziti-laseru-pri-deleni-a-znaceni-materialu.html>>
7. Princip CO2 laseru [online]. [cit.28-3-2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.lt.cz/cs/znaceni-laserem-solaris/lasery-info-learning?limit=1&limitstart=1>>
8. KATAYAMA, Seiji. *Handbook of Laser Welding Technologies: Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials 41*. Elsevier, 2013. ISBN 0857092642.
9. MINAŘÍK, Václav. Technologické lasery [online]. 2007 [cit.29-3-2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=228>>
10. NOVÁK, Miroslav. Hlavní typy laserů v průmyslové praxi. [online]. 2012 [cit.29-3-2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/prumyslove-lasery-4-hlavni-typy-laseru-v-prumyslove-praxi.html>>

11. ROUBÍČEK, Martin. Řezání CO₂ laserem. [online]. 2007 [cit.29-3-2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.konstrukce.cz/clanek/rezani-co2-laserem-opticky-system-bifocal/>>
12. SADÍLEK, Marek. *Nekonvenční metody obrábění I.* 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 9788024821078.
13. KRUTINA, Jiří. Laserové technologie v průmyslu. [online]. 2010 [cit.29-3-2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/laserove-technologie-v-prumyslu.html>>
14. KOŘÁN, Pavel. Průmyslové lasery(5) - Laserové řezání. [online]. 2012 [cit.29-3-2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/prumyslove-lasery-5-laserove-rezani.html>>
15. Co rozhoduje při volbě typu laseru. [online]. 2011 [cit.29-3-2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/co-rozhoduje-pri-volbe-typu-laseru.html>>
16. HAUMER, Marek. Nové možnosti laseru. [online]. 2011 [cit.29-3-2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nove-moznosti-laseru.html>>
17. ŠMÍD, Jiří. Leštění povrchu laserem. [online]. 2009 [cit.30-3-2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/lesteni-povrchu-laserem.html>>
18. Selective laser sintering. [online]. [cit.30-3-2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.3d-tisk.cz/selective-laser-sintering/>>
19. Přehled technik využívaných při Rapid Prototyping. [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, 2012 [cit.30-3-2016]. Dostupné z WWW: <http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/P%C5%99ehled%20technik%20vyu%C5%BE%C3%ADvan%C3%BDch%20p%C5%99i%20Rapid%20Prototyping.pdf>
20. Laserové sinterování [online]. [cit.30-3-2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.materialise.cz/laserove-sinterovani>>

21. Selective laser sintering [online]. [cit.30-3-2016]. Dostupné z WWW: <<https://www.protolabs.com/additive-manufacturing/selective-laser-sintering>>
22. Selective laser sintering [online]. [cit.30-3-2016]. Dostupné z WWW: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/33/Selective_laser_melting_system_schematic.jpg>
23. Budování třetího rozměru [online]. 2015 [cit.1-4-2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.techmagazin.cz/2283>>
24. Nástup třetího rozměru [online]. 2014 [cit.1-4-2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.techmagazin.cz/1397>>
25. THOMPSON, Joe. Understanding Direct Metal Lasere Sintering [online]. 2013 [cit.1-4-2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.cimindustry.com/article/management/understanding-direct-metal-laser-sintering>>
26. HOMOLA, Jan. Technologie DMLS při opravách forem prostřednictvím 3D tisku kovovým materiálem [online]. 2013 [cit.1-4-2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.3d-tisk.cz/technologie-dmls-pri-opravach-forem-prostrednictvim-3d-tisku-kovovym-materialem/>>
27. Aditivní technologie – metody Rapid Prototyping [online]. [cit.1-4-2016]. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto_bak/cv_STV_04_Aditivni_technologie_metody_Rapid_Prototyping.pdf>
28. TKÁČ, Stanislav. [Prasklá čočka laseru] [fotografie]. 2016
29. *Katalog S&A* [online]. [cit.12-4-2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.teyuchiller.com/Products/ChillerCW300050Wradi.html>>
30. *Aliexpress* [online]. [cit.12-4-2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.aliexpress.com/item/water-chiller-CW3000-for-laser-tube-spindle/32613225023.html?spm=2114.40010208.4.1.xiSBj6>>
31. *CNC fórum* [online]. [cit.12-4-2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.c-n-c.cz/download/file.php?id=47005&mode=view>>

32. BERENNER, Otakar. Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály. [online]. 2003 [cit.2-5-2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/korozivzdorne-oceli-jako-konstrukcni-materialy.html>>
33. ZATLOUKAL, Petr. Laserové dělení materiálu. [online]. [cit.2-5-2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.welding.cz/laser/deleni.htm>>
34. Vysekávací/laserové stroje. *TruMatic 6000* [online]. [cit.8-5-2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/obrabeci-stroje/produkty/obrabeni-vysekavanimlaserem/vysekavacilaserove-stroje/trumatic-6000.html>>
35. *Machine outlis service* [online]. [cit.8-5-2016]. Dostupné z WWW: <http://www.machines-outils-services.com/machine-tool/press-brake/trumabend-v230/html_photo>
36. Punching Tools and Accessories. *TRUMPF Machine Tools* [online]. [cit.8-5-2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.us.trumpf.com/en/products/machine-tools/services/punching-tools-and-accessories.html>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CNC	[-]	Computer Numeric Control
DC	[-]	stejnoseměrný proud
DMLS	[-]	Direct Metal Laser Sintering
DXF	[-]	Drawing Exchange Format
RF	[-]	rádio-frekvenčně
SLS	[-]	Selective Laser Sintering
STL	[-]	STereoLithography

Symbol	Jednotka	Popis
Q	[J]	teplo
P	[W]	výkon
Ra	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti
T	[°K]	teplota ve stupních Kelvinech
c	[J/kgK]	měrná tepelná kapacita
m	[kg]	hmotnost
\dot{m}	[kg/s]	hmotnostní tok
t	[°C]	teplota ve stupních Celsia

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Schéma přestupu elektronu.....	10
Obr. 1.2 Schéma SLAB laseru	12
Obr. 1.3 Prasklá čočka laseru	14
Obr. 1.4 Poškozené měděné zrcadlo	14
Obr. 2.1 Srovnání kvality řezu	16
Obr. 2.2 Schéma SLS	18
Obr. 3.1 CW-3000	20
Obr. 3.2 Znečištěný vnitřní prostor přístroje.....	21
Obr. 4.1 Schéma zařízení.....	23
Obr. 4.2 Cirkulace vzduchu	24
Obr. 4.3 Možnosti konstrukce skříně s ohledem na vyrobiteľnosť	25
Obr. 4.4 Varianty větracích otvorů	25
Obr. 5.1 Trumatic 6000	29
Obr. 5.2 TrumaBend V320	30
Obr. 5.3 Nástřihový plán pro prototyp	31
Obr. 5.4 Možnost nástřihového plánu při sériové výrobě	32
Obr. 5.5 Děrovací nástroje	32

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1 Technické specifikace zařízení	20
Tab. 6.1 Kalkulace výroby plechových součástí firmou-C	35
Tab. 6.2 Kalkulace nákladů při výrobě prototypu a malé série	35
Tab. 6.3 Kalkulace příslušenství	36

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1	Technická data kombinovaného stroje TruMatic 6000		
Příloha č. 2	Pořadí ohybů jednotlivých součástí		
Příloha č. 3	Výkres součásti	SKŘÍŇ	2016-BP-01
Příloha č. 4	Výkres součásti	KRYT	2016-BP-02
Příloha č. 5	Výkres součásti	BOČNICE	2016-BP-03
Příloha č. 6	Výkres součásti	PŘEPÁŽKA	2016-BP-04
Příloha č. 7	Výkres součásti	DRŽÁK	2016-BP-05
Příloha č. 8	Výkres sestavy	ZAŘÍZENÍ	2016-BP-1

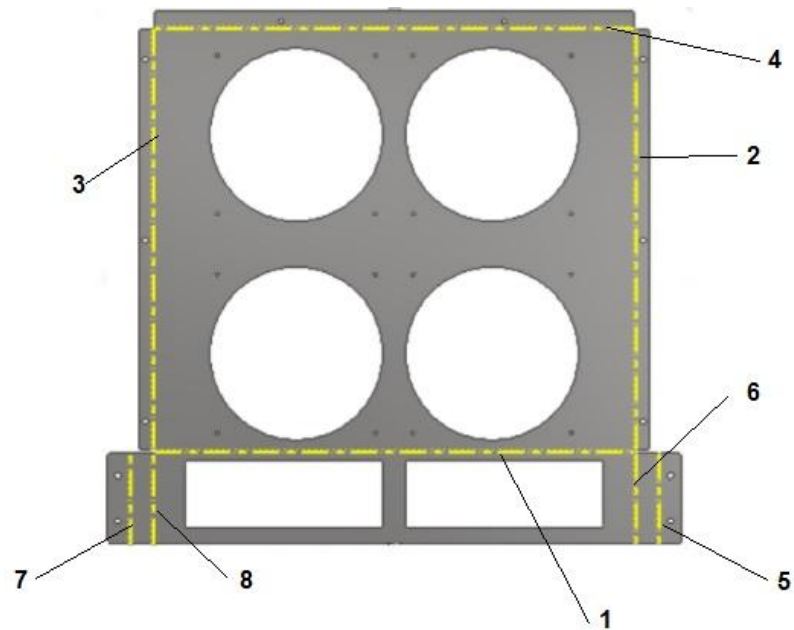
PŘÍLOHA Č. 1 [34]

Technická data kombinovaného stroje TruMatic 6000		
	TruMatic 6000 Střední formát	TruMatic 6000 Střední formát
Pracovní oblasti Kombinovaný provoz Vysekávací provoz Laserový provoz	2500 x 1250 mm	3050 x 1550 mm
Výkony Výkony laserů Max. tloušťka plechu Max. vysekávací síla Aktivní přidržovač Hmotnost obrobku	2000 W / 2700W / 3200 W 8 mm 220 kN 4,5 - 20 kN 200 kg	2000 W / 2700W / 3200 W 8 mm 220kN 4,5 - 20 kN 200 kg
Rychlosti Osa X Osa Y Simultání (X a Y) Tváření závitů osa C Lisovací osa C Max. sled zdvihů niblování Max. sled zdvihů značení	90 m/min 60 m/min 108 m/min 330 ot./min 60 ot./min 900 1/min 2800 1/min	90 m/min 60 m/min 108 m/min 330 ot./min 60 ot./min 900 1/min 2800 1/min
Nástroje Lineární zásobník Počet při použití MultiTool Doby výměny nástroje	19 nástrojů (2 upínky) 19 – 190 0,7 – 6,5 s	18 nástrojů (3 upínky) 18 – 180 0,7 – 6,5 s
Přesnost Odchylka Pa Střední šířka rozptylu polohy Ps	±0,1 mm ±0,03 mm	±0,1 mm ±0,03 mm
Doba výměny nástroje Jednotlivý nástroj MultiTool	< 3 s 0,7 s	< 3 s 0,7 s
CNC řízení TRUMPF	Siemens Sinumerik 840 D	Siemens Sinumerik 840 D
Rozměry Plocha Výška	7460 x 7615 mm 2500 mm	7460 x 7615 mm 2500 mm
Váha	16 000 kg	22 500 kg

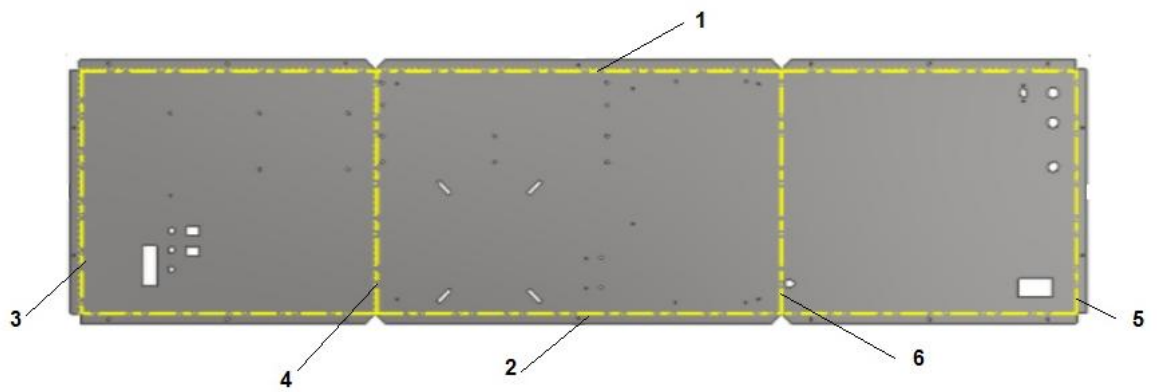
PŘÍLOHA Č. 2

Pořadí ohybů jednotlivých součástí

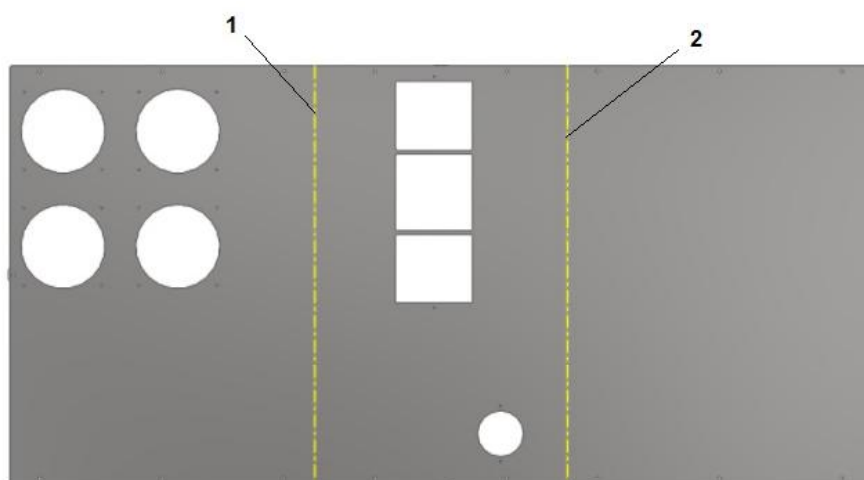
Postup ohýbání držáku



Postup ohýbání skříně



Postup ohýbání přepážky



Postup ohýbání přepážky

