VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

REALIZACE LASEROVÉ TECHNOLOGIE

IMPLEMENTATION OF LASER TECHNOLOGY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. Jan Urban
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE ING. KAREL OSIČKA, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jan Urban

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

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 diplomové práce:

Realizace laserové technologie

v anglickém jazyce:

Implementation of laser technology

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Realizace technologie řezání laserovým paprskem v podmínkách strojírenské firmy, která je vybavena pouze strojním parkem charakteru klasické technologie.

Cíle diplomové práce:

Úvod.
Rozbor technologie laserového řezaní.
Rozbor stávajícího stavu.
Rozbor možností modernizace strojního parku nekonvenční laserovou technologií.
Návrh řešení laserového pracoviště.
Technologická příprava výroby pro vzorovou součást.
Technicko-ekonomické hodnocení.
Závěr.

Seznam odborné literatury:

KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. 1. vydání Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. 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.
SVOBODA, Emil. Technologie a programování CNC strojů. 1. vydání Havlíčkův Brod: FRAGMENT, 1998. 278 s.
BARCAL, Jaroslav. Nekonvenční metody obrábění. Skriptum FSI ČVUT, Praha : Vydavatelství ČVUT, 1989.
MAŇKOVÁ, Ildikó. Progresívne technológie. 1. vydanie, Košice: Vienala, 2000. 275 s. ISBN 80-7099-430-4.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Karel Osička, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 21.11.2011

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc. Ředitel ústavu	prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c. Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je popsat nahrazení drátového řezání laserovým řezáním při vyřezávání břitových destiček z tvrdých materiálů. Popis stávajícího stavu ve firmě Vydona, výběrové řízení a volbu laseru a dále pak nutnost úprav pracoviště laseru. V další části se řeší vyřezání konkrétního vzorku. V poslední části technicko-ekonomického hodnocení jsou spočítány hodinové sazby strojů a časové a cenové zatížení při vyřezání různého počtu břitových destiček.

Klíčová slova

Laser, řezání břitových destiček, řezání tvrdých materiálů,PKD, návrh dílny, řezání vzorku, technicko-ekonomické hodnocení.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to describe the replacement of wire cutting laser cutting for cutting inserts made of hard material. Description of current situation in the company Vydona, tender and choice of laser and the need for post-laser workshop. The next section deals with the cutting of a particular sample. The last part of the technical economic assessment are calculated hourly rates of machines and the time and cost loads of different cutting inserts.

Key words

Laser, cutting inserts, cutting hard materials, PCD, design workshops, sample cutting, technical and economic evaluation.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Urban, Jan. Realizace laserové technologie. Brno 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 77 s. příloh 1. Ing. Karel Osička, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Realizace laserové technologie** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

25.5.2012 Bc. Jan Urban

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Karlu Osičkovi, Phd a Ing. Jiřímu Sedláčkovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále děkuji rodině a blízkým za materiální a psychickou podporu během let mého studia.

OBSAH

ABSTRAKT 4
PROHLÁŠENÍ 5
PODĚKOVÁNÍ 6
OBSAH 7
ÚVOD 10
1 Rozbor technologie laserového řezaní 11
1.1 Historie laserového obrábění 11
1.2 Princip technologie laserového obrábění 11
1.3 Hlavní části zařízení pro obrábění laserem 14
1.4 Dělení laserů 16
1.4.1. Dělení podle aktivního prostředí 16
1.4.2. Dělení podle vlnové délky 19
1.4.3. Dělení podle režimu paprsku 19
1.4.4. Dělení podle dosahovaného výkonu 20
1.4.5. Dělení podle konstrukce laserového zařízení 20
1.4.6. Dělení podle použití laseru 20
2 Rozbor stávajícího stavu 21
2.1 Představení firmy Vydona s.r.o. 21
2.2 Nástroje vyráběné ve firmě Vydona s.r.o. 21
2.3 Obecné rozdělení frézovacích nástrojů 21
2.4 Typy frézovacích nástrojů na dřevo dle použití 23
2.5 Výrobky firmy Vydona s.r.o. 24
2.6 Řezání břitových destiček v současných podmínkách 28
3 Rozbor možností modernizace strojního parku nekonvenční laserovou technologií 30
3.1 Požadavky na laser 30
3.2 Výběrové řízení 30
3.3 Vlastnosti laseru 32
3.4 Popis jednotlivých částí Lasag FLS 352N – 302 33
3.4.1 Rezonátor, aktivní prostředí, čerpaní a optické vlastnosti 33
3.4.2 Řezná hlava 33
3.4.3 Charakteristika optického čerpání 34
3.4.4 Řezný plyn 34
3.4.5 Konstrukční data, viz. Tab. 3.2 35
3.4.6 Portálové zařízení s polohováním 35

3.4.7 Výkony laserů při řezání tvrdých materiálů 35
3.5 Volba řezného plynu 36
3.6 Kompresor a filtrační zařízení 38
3.7 Ochranné brýle 41
3.8 Brusný papír 41
4 Návrh řešení laserového pracoviště 42
4.1 Jednotlivé části dílny 43
4.2 Návrh dílny od dodavatele 47
4.3 Návrh řešení 1 48
4.4 Návrh řešení 2 49
4.5 Návrh dílny do budoucna 50
5 Technologická příprava výroby pro vzorovou součást 51
5.1 Výkres výrobku 51
5.2 Určení polotovaru a upnutí 52
5.3 Nářezový plán 54
5.4 Zpracování programu pro řezání 54
5.5 Generování NC kódu pro stroj 55
5.6 Přenesení programu na stroj 55
5.7 Upnutí polotovaru, nulový bodu a bod začátku řezu 55
5.8 Řezaní vzorku číslo 1 55
5.8.1 Výkres břitové destičky 55
5.8.2 Upnutí a nářezový plán 56
5.8.3 Zpracování programu pro řezání vzorku 56
5.8.4 Generování NC kódu pro stroj a přenesení na stroj 57
5.8.5 Najetí do nulového bodu a správné výšky laserové hlavy 57
5.8.6 Kontrola programu, optimalizace řezných podmínek a spuštění programu 57
5.8.7 Doba řezu vzorku 58
5.8.8 Porovnání doby řezu vzorku s drátovou řezačkou 58
6 Technicko-ekonomické hodnocení 61
6.1 Výpočet hodinové sazby pro jednosměnný provoz laseru 61
6.2 Výpočet hodinové sazby pro jednosměnný provoz drátovky 63
6.2.1 Náklady na pořízení a zprovoznění stroje NC_{II} 63
6.2.2 Náklady na doplňkové vybavení stroje N_{DII} 64
6.2.3 Náklady na provoz stroje N_{PII} 64
6.2.4 Náklady na obsluhu stroje N_{OII} 65

6.2.5 Celkové náklady na provoz stroje N_{celkII} 65
6.2.6 Výsledná hodinová sazba včetně zisku H_{SII} 65
6.3 Cena vyřezání 10 Ks břitových destiček 65
6.3.1 Cena při řezání laserem 65
6.3.2 Cena při řezání drátovou řezačkou 66
6.3.3 Porovnání časů a cen jednotlivých metod 66
6.4 Hodnocení 68
DISKUSE 69
ZÁVĚR 71
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 72
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK 73
SEZNAM PŘÍLOH 77

ÚVOD

Od roku 2003 se firma Vydona s.r.o. zabývá výrobou nástrojů a nástrojových systémů na obrábění dřeva, plastů a kovů. Technologická vyspělost firmy dovoluje vyrobit téměř jakýkoli typ frézy. Často má firma požadavky na tvarové frézy. Tyto frézy mají břity z HW, HS, SK nebo PKD břity. Břity jsou buď pájené, nebo ve formě vyměnitelných břitových destiček.

Strojní park firmy obsahuje konvenční klasické stroje jako soustruhy, frézky a brusky, CNC soustruhy, CNC brusky a CNC frézky. Na těchto strojích jsou obráběny těla fréz. Na tyto těla fréz se poté připájí nebo přišroubují břitové destičky. Zejména kvůli zvyšující se poptávce po nástrojích s PKD břitovými destičkami se firma před 2 lety rozhodla rozšířit svůj strojní park o nekonvenční metodu elektroerozivního obrábění a pořídila drátovou řezačku FANUC ROBOCUT α-1iD. Na této drátové řezačce jsou hrubovány břitové destičky z PKD nebo SK. Dále má řezačka sloužit pro vyostřování SK. Při řezání jsou břitové destičky pouze hrubovány a dále broušeny na brusce značky Vollmer. Tato metoda řezání se i tak ukázala stále nedostačující, jelikož drátová řezačka nestíhá hrubovat nové břitové destičky a přitom vyostřovat SK břitové destičky.

Proto se firma rozhodla rozšířit strojní park o další nekonvenční metodu a to metodu laseru. Od laserového zařízení očekává, že bude vyřezávat břitové destičky z polotovarů za výrazně nižší časy a při málo tepelně ovlivněné vrstvě. Tím by měla odpadnout zátěž kladená na drátovou řezačku, která je zahlcena a kvůli své dlouhé době řezu nestíhá firma plnit zakázky. Takže firma vypsala výběrové řízení, kde zohlednila požadavky na laser. Po obdržené nabídce bylo třeba nachystat dílnu a potřebné doplňky dílny. Do dílny bylo, také třeba dovést čistý stlačený vzduch.

Dále se práce zabývá řezáním konkrétních břitových destiček určených na opravu stopkové frézy.

V poslední části se porovnávají metody laserového řezání a drátového řezání. Porovnávají se hodinové sazby práce na obou strojích. Také se srovnává čas a cena potřebných na vyřezání 10 destiček na opravu jedné frézy až 1000 destiček na opakované zakázky firmy Vydona.

1 ROZBOR TECHNOLOGIE LASEROVÉHO ŘEZANÍ

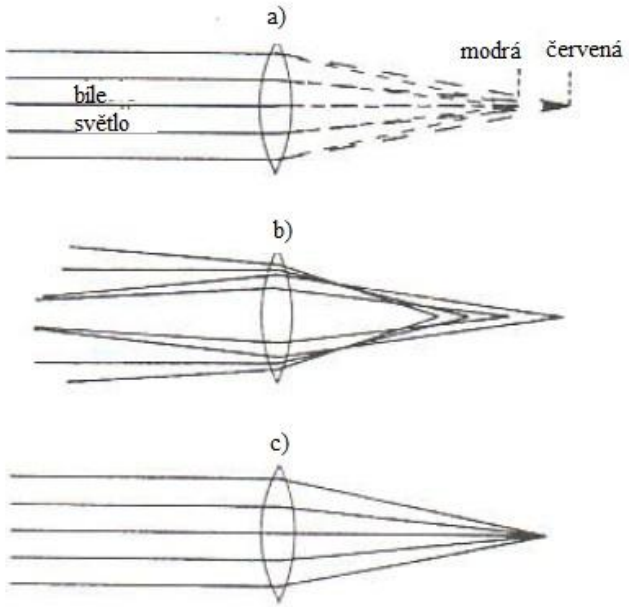
1.1 Historie laserového obrábění

Slovo laser je odvozeno z anglického názvu Ligh Amplification by Stimulated Emission of Radiation, čili česky zesílení světla pomocí vybuzeného emisního záření. (1)

Historie laseru se začíná psát roku 1971, kdy Albert Einstein začal popisem teoretických základů nuceného emisního záření. Ale až začátkem 50.let byly položeny základy nového oboru – kvantové elektroniky. První pevnolátkový laser na bázi neodym (Nd) – sklo použil poprvé Snitzer v roce 1961. Polovodičový laser byl objevený v roce 1962. Argonový ionový laser a pevnolátkový neodým (Nd-AYG) laser, ten se v práci objeví nejvíce, byl poprvé představen roku 1964. V tom samém roce C.H.Patel experimentoval s CO_2 laserem, který je v současnosti nejrozšířenější [1].

1.2 Princip technologie laserového obrábění

Laser pracuje na principu indukované emise, to znamená vynuceného záření. Indukovaná emise je vyvolána dopadem záření na atomy prvku, kdy záření přinutí elektron obíhající kolem jádra přijmout energii a tím vystoupat na vyšší oběžnou dráhu. Následné přijímání energie a rovnováha sil v atomu donutí elektron vrátit se na svoji původní oběžnou dráhu a vyzářit přijatou energii do prostoru. Takto vzniklé záření je monochromatické (tzn. má jednu přesně definovanou vlnovou délku) a koherentní, to znamená, že příslušné částice (fotony) se ve svazku pohybují jedním směrem a jsou v jeho průřezu buď stejnoměrně, nebo dosti pravidelně rozděleny. Porovnání fokusace bílého a laserového světla je na obr 1.1 [2].



a) Když je fokusované bílé světlo, každá barva má jinou ohniskovou vzdálenost od čočky,

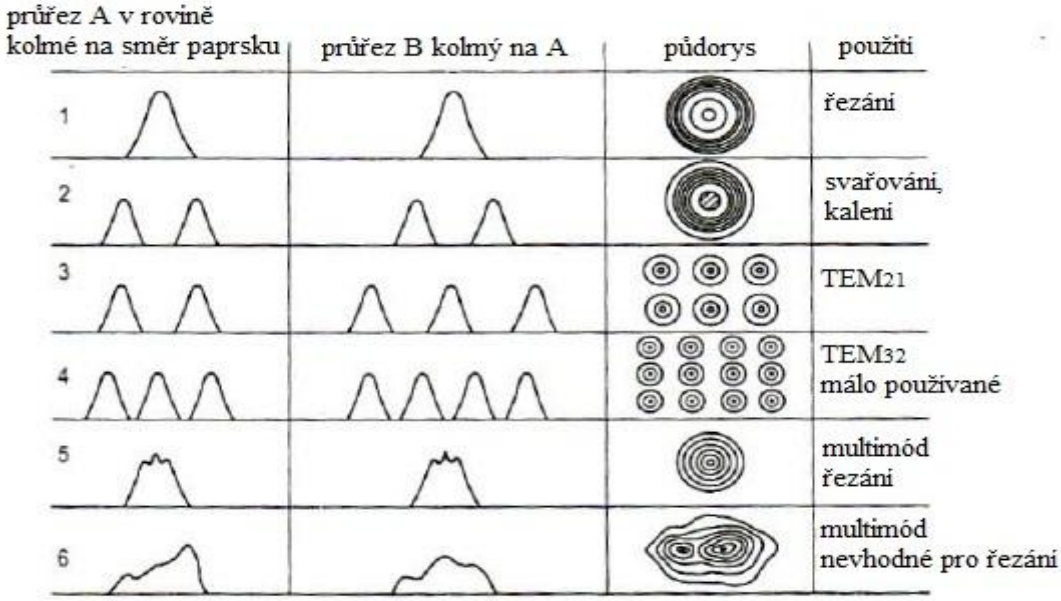
b) když je fokusované neparalelní světlo, ohnisková vzdálenost závisí na úhlu dopadu částic původního paprsku,

c) laserové světlo je monochromatické a rovnoběžné, proto je ho možné soustředit do intenzivního úzkého bodového svazku [1].

Obr. 1.1 Porovnání fokusace bílého a laserového světla [1].

Mezi další vlastnosti laserového paprsku patří:

- má minimální rozbíhavost,
- má vysokou výstupní intenzitu,
- má módovou strukturu TEM, což znamená, že vytváří buď jen jednoduchou stopu, základní mód nebo vytváří složitější obrazce pravoúhle nebo kruhově symetrické. Mód laseru určuje, na co bude laser používán, jako např. řezání, svařování a další technologie. Použití laseru a jejich TEM struktury je na obr. 1.2 [1].



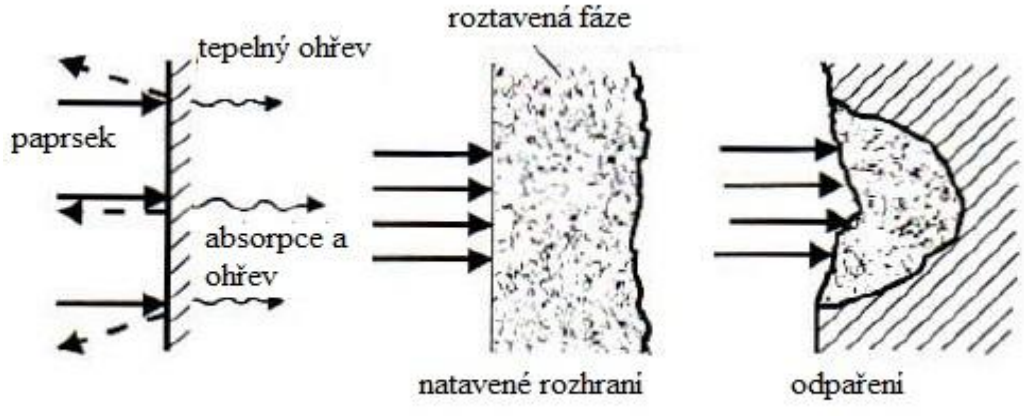
Obr. 1.2 Ukázky módové struktury laserů, jejich TEM označení a některé doporučení pro jejich použití [1].

Tyto vlastnosti laserového paprsku umožňují soustředit paprsek, pomocí vhodné optické soustavy do malého bodu s mimořádně vysokou hustotou energie v místě dopadu paprsku. Efektem tohoto dopadu je natavení až odpaření materiálu, čímž dosáhneme požadovaného efektu zpracování. [1]

Průměrný nezaostřený paprsek bývá řádově několik milimetrů, a proto není vhodný pro zpracování materiálu, kde se požaduje malá tepelně ovlivněná vrstva. [1]

Při styku laserového paprsku s materiálem dochází k jejich interakci. Co se děje s materiálem po dopadu paprsku je znázorněno na obr. 1.3. Vlastnosti jejich interakce jsou závislé na vlastnostech materiálu a jejich schopnosti pohlcovat a odrážet laserové záření. Hlavní vlastnosti materiálu, které ovlivňují laserový paprsek jsou:

- reflektivita – odrazivost povrchu,
- absorpce povrchu – pohlcování laserového paprsku,
- tepelná vodivost,
- tavení povrchové vrstvy,
- odpařování [1].



Obr. 1.3 Účinek laserového paprsku při dopadu na povrch materiálu [1].

Po dopadu paprsku na materiál se část paprsků odrazí, část pohltí materiál a část projde materiálem. Pohlcené paprsky ohřívají materiál, který se ohřevem nataví a pak odpaří z ohřáté oblasti. Množství odražených paprsků závisí na odrazivosti materiálu. Odrazivost R [%] kovového povrchu, pro vlnovou délku větší než 10μm , je vyjádřena Hagen-Rubensovým vztahem [1].

$$R = 1 - \sqrt{f/\sigma_0} \tag{1.1}$$

kde: R [%] - odrazivost povrchu materiálu,

f [mm] - ohnisková vzdálenost čočky,

σ_0 [$\Omega^{-1}m^{-1}$] - elektrická vodivost kovu.

Absorpce světelného záření způsobí ohřátí povrchové vrstvy materiálu. Vztah mezi absorpcí a odrazivostí povrchu popisuje vztah:

$$R + A = 100\% \tag{1.2}$$

kde: R [%] - odrazivost povrchu materiálu,

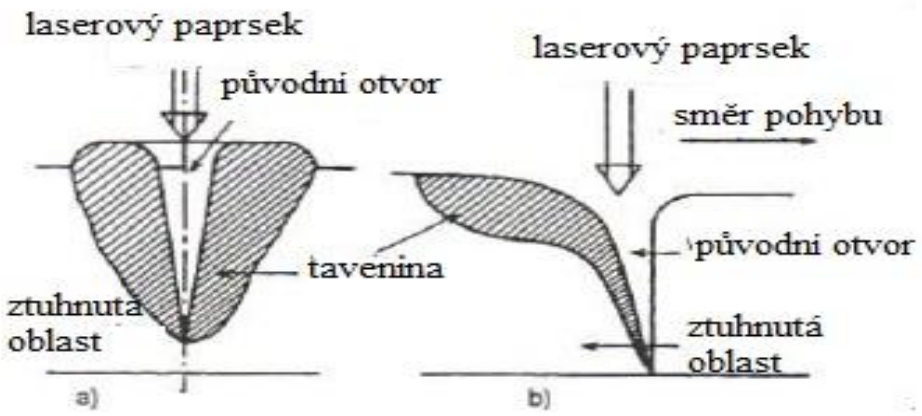
A [%] - absorpce světelného záření.

Odrazivost infračerveného světla od kovových povrchů je poměrně velká. Na odrazivost paprsku působí přítomnost oxidační vrstvy na povrchu a zbytkové napětí pod povrchem. Odrazivost paprsků se dá snížit např.: zdrsněním povrchu, vytvořením krycí nekovové vrstvy, narušením oxidační vrstvy ozářením povrchu laserovým paprskem s vysokou energií nebo ohřátím materiálu na teplotu blížící se teplotě tavení. Při ozařování povrchu kovů CO_2 laserem je odrazivost paprsků při pokojové teplotě poměrně vysoká. Se zvýšením teploty povrchu odrazivost klesá a minimální hodnoty dosahuje při teplotě tavení kovu. Páry kovu vypařující se z místa řezu výrazně absorbují laserový paprsek. Zpracování kovů s vysokou odrazivostí a vysokou tepelnou vodivostí, jako jsou měď, stříbro, zlato, hliník, se při zpracování lasery s nižšími výkony jeví jako problematické, proto se na řezání těchto kovů doporučuje používat lasery s výkony nad 2 kW [1].

Absorpce světelných paprsků do materiálu je závislá na tepelném gradientu kovového povrchu a mění se s drsností povrchu. Absorpce paprsků klesá s rostoucí drsností povrchu. To samé platí o zbytkovém napětí v povrchové vrstvě po odcházející mechanické operaci. Absorpce světelného záření a následný ohřev povrchu a jiných materiálů závisí na tepelné vodivosti materiálu [1].

Působením zaostřeného laserového paprsku na povrch materiálu dojde k jeho natavení. Chování materiálu při působení laserového paprsku je na obr. 1.4. Když laserový paprsek s určitou hustotou výkonu ozáří povrch materiálu, absorbované paprsky lokálně ohřejí řezanou část materiálu až na teplotu tavení. Povrch natavené oblasti se rychle rozšiřuje a materiál se začne odpařovat z místa řezu. V natavené zóně při odpařování částic materiálu vznikají poměrně vysoké tlaky a tavenina je přemísťována a vytláčena ze vzniklého otvoru tlakem páry. V místě dopadu paprsku se vytvoří malý otvor a laserový paprsek pak může pronikat hlouběji do otvoru. Po skončení ozařování paprskem, nebo když se laserový paprsek posune dál do řezu, tavenina začne tuhnout nebo rekrystalizovat a v tuhnoucí tavenině vznikají a zůstávají zbytková napětí [1].

V závislosti na použité technologii je tepelně ovlivněná vrstva dvojrozměrná nebo trojrozměrná. Tepelně ovlivněná zóna po řezu laserem se tvoří jen na stěnách zářezu. Tudíž je dvojrozměrná. Při hloubení drážek, nebo tvarování profilu laserem je tepelně ovlivněná vrstva na obou stěnách a taky ve spodní části řezu. Tato tepelně ovlivněná vrstva je nazývána tedy trojrozměrná [1].



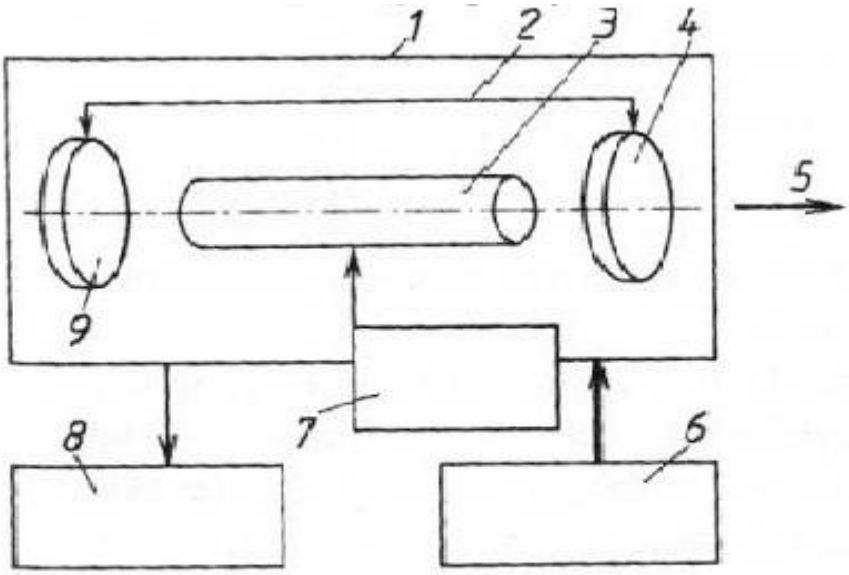
Obr. 1.4 Chování materiálu při působení laserového paprsku a) v příčném směru, b) v podélném směru [1].

1.3 Hlavní části zařízení pro obrábění laserem

Hlavní části zařízení pro obrábění laserem jsou na obr. 1.5. Zařízení se skládá z:

- laserová hlavice, která má další části,
- laserové médium určující délku vlny záření. Je to směs několika materiálů s vhodnými energetickými hladinami v příslušném nosném materiálu. Ten je průhledný a je schopen odvádět vzniklé teplo. Médium je pevné, tekuté nebo plynné,

- rezonátor, je optický systém, jenž umožňuje zformování a zesílení záření, tj. elektromagnetickou vlnu vycházející z něj. Konstrukční uspořádání rezonátoru je určující pro vlastnosti paprsku, jako jsou koherence, intenzita záření, pravidelnost, spektrální a prostorové charakteristiky. Optický rezonátor je složen nejméně
  ze dvou zrcadel. Nejpoužívanější jsou sférická zrcadla v konfokálním stabilním nebo konfokálním nestabilním uspořádání. Zakřivení a průměr těchto zrcadel určují rozdělení intenzity záření a energetickou rozbíhavost laserového záření, tj. divergenci paprsku, která je dána rovinným nebo prostorovým úhle, kde se šíří. Tzv. MOD vyjadřuje rozdělení intenzity záření v průřezu výstupního paprsku laseru. MOD je označení pro vlastní kmity elektromagnetického pole rezonátoru, charakterizované danou frekvencí a rozložením pole v rezonátoru. Základní MOD pro technologické operace má většinou intenzitu rozdělenou podle Gaussovy křivky,
- budící zařízení ovlivňující pracovní režim laseru. Laserové médium udává způsob buzení. Elektrickým výbojem je téměř vždy buzeno plynné médium, střídavým nebo stejnosměrným proudem. Lampami, čili výbojkami nebo diodami je nejčastěji buzeno pevné laserové médium,
- zdroj energie buzení. Je to speciální typ síťového napáječe,
- chladicí systém slouží pro odvádění nevyužité energie, která se nepřemění v záření, ale v tepelnou energii. Chlazení vodou se nejčastěji používá u laserů určených pro zpracování materiálů. Chladící zařízení má okruh se dvěma větvemi. Ve vnitřní větvi se používá deionizovaná voda, vnější větví prochází voda z vodovodní sítě nebo ze speciálních zásobníků s čerpadlem. Někteří výrobci laserových zařízení dodávají spolu s laserem speciální chladící zařízení, kde je vnitřní okruh chlazen vzduchem [2].



1 – laserová hlavice, 2 – rezonátor, 3 – laserové médium, 4 – polopropustné zrcadlo, 5 – výstup paprsku, 6 – zdroj energie buzení, 7 – budicí zařízení, 8 – chladicí systém, 9 – nepropustné zrcadlo

Obr. 1.5 Schéma laserového zařízení [2].

1.4 Dělení laserů

Existuje několik různých typů laser, které mají různé vlastnosti, dosahují různých výkonů, mají různé oblasti požití. Proto je potřeba lasery rozdělit do tříd podle jejich vlastností.

Lasery je možné rozdělit podle:

a) aktivního prostředí,
b) vlnové délky,
c) režimu paprsku,
d) výkonu,
e) konstrukce laserového zařízení,
f) použití [1].

1.4.1. Dělení podle aktivního prostředí

Lasery se rozdělují dále do tříd podle skupenství materiálu, které se používá na generování záření, teda podle skupenství aktivní látky se rozdělují na:

- pevné,
- plynové,
- kapalinové,
- polovodičové [1].

1.4.1.1 Pevnolátkové lasery

V těchto laserech je aktivní prostředí dielektrikum, čili pevná, opticky propustná látka. Materiálem určujícím většinu technických vlastností daného krystalu je u pevnolátkových laserů matrice, která je průzračná, opticky homogenní a musí být technologicky možné ji uměle vyrábět. Schéma pevnolátkového laseru je na obr. 1.6 [2].

Mezi druhy pevnolátkových laserů patří:

- rubínový laser – aktivním prostředím u rubínových laserů je krystal generující záření o vlnové délce 0,6943μm. Ve většině případů pracuje v pulzním režimu. Tento laser je vhodný pro vrtání tvrdých materiálů, v medicíně v dermatologii,
- Nd:sklo laser – je to laser pracující v pulzním režimu. Používá se pro vysokoenergetické pulzní režimy práce s malou opakovací frekvencí,
- Nd: YAG laser - je dnes nejpoužívanějším typem pevnolátkového laseru. V aktivním prostředí je krystal yttriumaluminumgranát dopovaný neodymem. Tento laser pracuje v pulzním i kontinuálním režimu. Dosahuje výkonů od 100 W do 4 000 W. Paprsek pevnolátkových laserů mívá vlnovou délku 1,064 μm. Používá se pro vrtání, svařování, řezání a žíhání. V lékařství se používá kontinuální Nd:YAG laser jako skalpel (v chirurgii) a pulzní Nd:YAG laser zase v oční mikrochirurgii. Také pak v radarové technice a ve spektroskopii,

Obr. 1.6 Schéma pevnolátkového laseru [2].

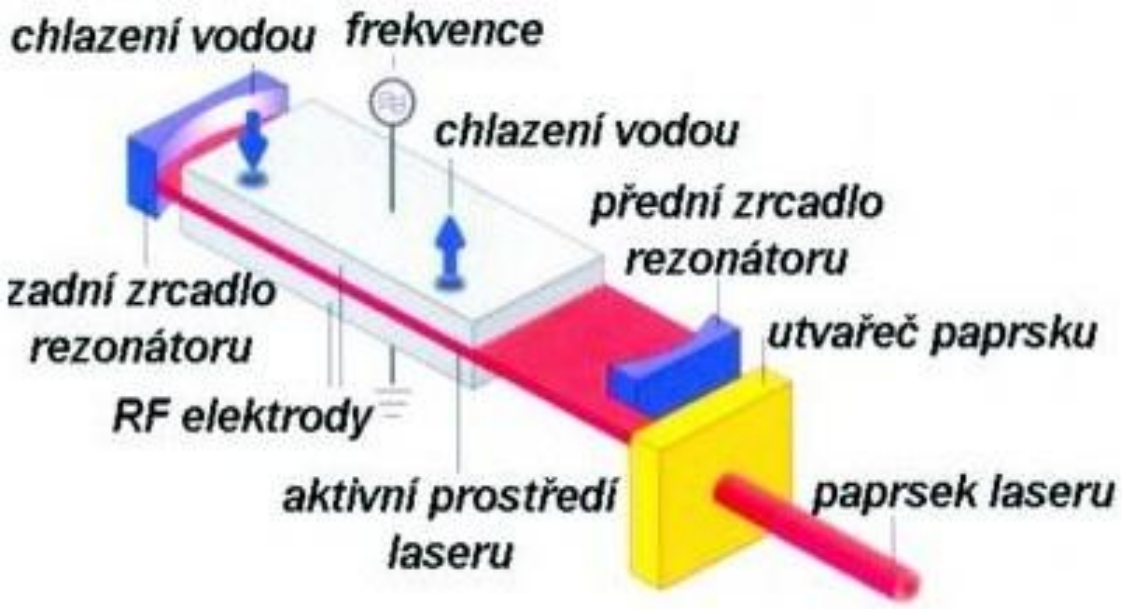
- Er:YAG laser – aktivní prostředí pro Er iont je tvořeno YAG. Zařízení je schopno generovat vlnové délky 1,56 a 2,94 μm. Záření Er:YAG laseru 1,56 μm je používáno v laserových dálkoměrech [2].

1.4.1.2 Plynové lasery

Aktivní prostředí u těchto laserů je v plynné fázi. Plynové lasery pracují většinou v kontinuálním režimu, v pulzním režimu málokdy a to jen u laserů s vysokým výkonem. Buzení u plynových laserů je řešeno elektrickým výbojem, chemickou reakcí, fotodisociací, rychlou expanzí plynů, průchodem svazku rychlých elektronů nebo opticky. Schéma laseru viz obr. 1.7 [2].

Mezi představitele plynových laserů patří:

- heliumneonový laser - s aktivním prostředím tvořeným vybuzenými atomy neonu. Laser vyzařuje infračervené záření o vlnové délce 1,15 μm, 3,39 μm a 0,633 μm. Používá se v měřicí technice, holografii a geodézii,
- argonový laser - s aktivním prostředí tvořeným ionty argonu, buzeným elektrickým nábojem,
- excimetrový laser - s aktivním prostředí tvořeným epimery, což je nestabilní molekula vzniklá jen na přechodnou dobu v důsledku působení vybuzeného atomu s atomem v základním stavu,
- CO_2 laser – v aktivním prostředí jsou molekuly oxidu uhličitého. Je buzen elektrickým výbojem, který zapaluje směs plynů CO_2, N_2 a He. Vlnová délka CO2 laserů je 10,6 μm. Lasery jsou používány pro řezání, svařování, vrtání, popisování součástí, nanášení povlaků a tepelné zpracování [2].



Obr. 1.7 Schéma plynového laseru [2].

1.4.1.3 Kapalinové lasery

Aktivní prostředí kapalinových laserů tvoří roztoky organických barviv nebo speciálně připravené kapaliny, dopované ionty vzácných zemin. Pro buzení kapalinových laserů se používá optické záření [2].

Kapalinové lasery se používají především ve spektroskopii. Nově používanou aplikací je využití možnosti naladění přesné vlnové délky v medicíně – ve fotodynamické terapii, kdy se působením záření o přesné vlnové délce ozařuje rakovinotvorný nádor předem nasycený speciálním organickým barvivem. Barvivo se působením záření rozpadne a volný generovaný kyslík zničí rakovinotvorné buňky [2].

1.4.1.4 Polovodičové lasery

Aktivním prostředím u těchto laserů je polovodičový materiál, ve kterém jsou aktivními částicemi nerovnovážné elektrony a díry, tj. volné nosiče náboje. Výhodou polovodičových laserů je jejich kompaktnost, velká účinnost, možnost spektrálního přeladění v širokém spektrálním pásmu. Nevýhodami jsou rozbíhavost generovaného záření a závislost parametrů generované zařízení na teplotě polovodičového materiálu.

Tyto lasery jsou používány hlavně pro popisování součástí, řezání, tepelné svařování a v Rapid prototyping [2].

Mezi představitele polovodičových laserů patří:

- polovodičový laser buzený svazkem elektronů,
- injekční polovodičové lasery [2].

1.4.2. Dělení podle vlnové délky

Všechny lasery ať už pevnolátkové, plynové, kapalinové nebo polovodičové mají i další odlišnosti a to v jejich vlnové délce světelného záření a frekvencí vysílaného záření. Podle frekvence vysílaného záření a rozdělují na:

- infračervené záření (IR) $f < f_{opt}$,
- optozáření, světelné záření $f = f_{opt}$,
- ultrafialové záření (UV) $f > f_{opt}$,
- röntgenové RTG a gama záření f >> fopt [1].

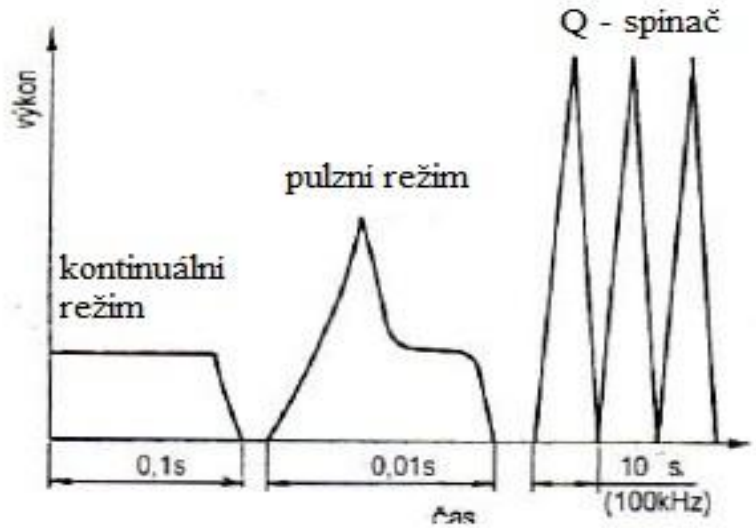
Ve strojírenském průmyslu jsou nejpoužívanější pevné lasery na bázi rubínu, Nd – YAG, Nd- sklo, alexandrit, CO_2 lasery a částečně i kapalinové lasery [1].

1.4.3. Dělení podle režimu paprsku

Lasery pracují v rozdílných časově závislých režimech, a to:

- kontinuální režimu,
- pulzním režimu – vzniká přerušováním budícího elektrického výboje v dutině laseru,
- tzv. Q – switched (Q_s) režimu – speciální kontinuální režim s vysokou energií impulzu [1].

Nejvyšší výkony dosahované laserem v kontinuálním režimu jsou řádově 10^4 až 10^5 W. v pulzním režimu je to 10^{12} až 10^{13} W. Režimy paprsku jsou na obr. 1.8 [1].



Obr. 1.8 Druhy provozních režimů laserového paprsku [1].

1.4.4. Dělení podle dosahovaného výkonu

Výkony laserů dosahují různých hodnot od setin wattů až po ticíse wattů. Takže se podle výkonu dělí na:

- nízkovýkonné, které dosahují desetin, až stetin W. Používají se pro řezání a vrtání keramiky, rubínů a plastů,
- vysokovýkonné, které dosahují 1 až 30 kW. Používají se pro svařování, tepelné zpracování klikových hřídelů, skříní převodovek a další [1].

1.4.5. Dělení podle konstrukce laserového zařízení

U laserů existují tři typy konstrukce zařízení, které se dělí na:

- systém pevného laseru a pohyblivého stolu, na němž je upnutý obrobek. Ovlivňujícím faktorem velikosti laseru je v tomto případě tvar, velikost a hmotnost obrobku,
- pohyblivý laserový systém a nepohyblivý obrobek. V tomto systému je používána malá a lehká laserová hlavice s nízkým výkonem a malou řeznou rychlostí. Tvar a hmotnost obrobku nejsou v tomto systému zase až tak omezujícím faktorem,
- systém pohyblivého paprsku, který je zabezpečený zrcadly. Tento systém je využíván, když je třeba vysokých řezných rychlostí. Systém je třeba přesně nastavit a omezit vibrace, aby se nerozptyloval paprsek [1].

1.4.6. Dělení podle použití laseru

Lasery nachází široké využití v oblastech:

- průmysl – řezání, vrtání, svařování,
- nedestruktivní metody zkoušení,
- měřicí systémy v metrologii,
- spotřební elektronika - CD přehrávače,
- informační a telekomunikační technologie,
- medicína [1].

2 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO STAVU

Kapitola pojednává o současných podmínkách firmy Vydona a o její historii. Je zde vysvětleno základní rozdělení frézovacích nástrojů. Jsou zde představeny nástroje firmy Vydona a je vysvětleno, jak jsou břitové destičky v současné době obráběny.

2.1 Představení firmy Vydona s.r.o.

Od roku 2003 nabízí firma Vydona své vlastní nástroje na obrábění dřeva a plastů. Nabízí jak standardní nástroje, tak především speciální nástroje podle konkrétních potřeb a přání zákazníka. Součástí nabídky firmy Vydona je také ostření, opravy, úpravy a repase nástrojů vyráběnými jak v jejich firmě, tak ve firmách jiných. Při konstrukci a výrobě využívají zkušeností, kvalitních materiálů a špičkových výrobních, kontrolních a zkušebních zařízení [3].

Firma se nezaměřuje jen na výrobu standardních nástrojů, ale nabízí zákazníkům optimální řešení konkrétních požadavků s ohledem na jeho výrobně technologické možnosti, charakter výroby, velikosti a opakovatelnosti dávek. Mezi nabízené služby patří i komplexní řešení nástrojových systémů a jejich doplňování standardními nástroji od jiných, tuzemských i zahraničních výrobců, včetně zajištění náhradního osazení k okamžitému dodání z firemního skladu. Mezi zákazníky firmy Vydona patří výrobci oken, dveří, kuchyňských dvířek, palubek, dřevěných podlah, spárovek, lepených hranolů a krovů. Dále pro výrobce interiérového a exteriérového nábytku, výrobce násad, držadel, madel, výrobce profilových lišt, obrazových rámů a rakví. Také dodávají nástroje pro balící zařízení v potravinářském průmyslu, nástroje pro polygrafický průmysl, pro obrábění kovů a pro výrobu střešních krytin. Velkou část sortimentu tvoří nástroje pro výrobu plastových oken pro téměř všechny dodavatele plastových profilů nabízených v České republice [3].

2.2 Nástroje vyráběné ve firmě Vydona s.r.o.

Většinu výroby firmy tvoří frézovací nástroje na dřevo. Frézovacích nástrojů existuje velké množství, které se dají dělit podle různých hledisek.

2.3 Obecné rozdělení frézovacích nástrojů

Frézovací nástroje se dělí dle mnoha hledisek. Jedním z hledisek je poloha řezného ostří vůči tělu nástroje. Můžeme je tedy dělit na:

- válcové frézy – řezné zuby jsou rozmístěny po válcové ploše a jsou určeny pro frézování rovinných ploch rovnoběžných s osou nástroje,
- válcové čelní frézy – řezné zuby jsou na válcové ploše a na ploše čelní, takže rovnoběžně a kolmo na osu rotace,
- čelní frézy – zuby jsou na čelní rovině kolmé na osu frézy, frézy se používají na obrábění rovinných ploch,
- kotoučové frézy – zuby jsou rozmístěny na obou čelních plochách a po obvodové ploše [4].

Dalším rozdělením může být systém upevnění řezné části k tělu nástroje. Nástroje mohou být vyráběny jako:

- celistvý – nástroj z jednoho kusu,
- nerozebíratelně spojený – pájené řezné části,
- rozebíratelně spojený – břitové destičky nebo nože upevněny v tělese nástroje pomocí upevňovacích prvků. Spoj může být silový nebo tvarový,
- sada nástrojů – je složená z nástrojů upevněných na společném nosném prvku [4].

Další dělení může být podle průběhu ostří frézy na frézy se zuby:

- Přímými,
- Šikmými,
- ve šroubovici [4].

Frézy se dělí také dle jejich způsobu upnutí na:

- nástrčné frézy – mají upínací otvor, kterým se ustavují na hřídel stroje,
- stopkové frézy – s válcovou nebo kuželovou upínací částí [4].

Frézovací nástroje se mohou otáčet na jak směrem doleva, tak doprava. Takže další dělení je dle smyslu otáčení na:

- pravořezné,
- levořezné [4].

Jak už bylo řečeno, frézy se mohou vyrábět jako celistvé z jednoho materiálu nebo jejich řezné části mohou být z jiného materiálu. Na materiál řezných částí fréz se používají:

- legovaná NO s minimálně 0,6% C a méně než 5% legujících prvků. Značí se SP,
- vysocelegovaná NO s více než 5% legujících prvků. Značí se jako HL,
- rychlořezná ocel s obsahem více než 12% legujících prvků W, Mo, V, Co. Značí se HS,
- slinutý karbid na bázi wolframu nepovlakovaný. Značí se HW,
- slinutý karbid povlakovaný. Značí se HC,
- polykrystalický diamant. Značí se PKD [4].

2.4 Typy frézovacích nástrojů na dřevo dle použití

Firma Vydona vyrábí většinu nástrojů pro zákazníky obrábějící dřevo. Na zákazníkovi záleže jakou operaci chce s frézou provádět. Jestli se jedná například o rovné drážky nebo frézovat nějaký radiusový profil. Frézovací nástroje se tedy dělí podle jejich použití.

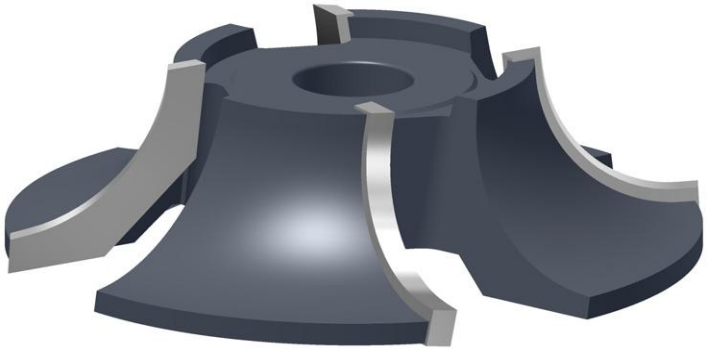
a) Nástroje pro základní frézování s přímými zuby:

- drážkovací frézy – břitové destičky ze slinutých karbidů jsou buď napájené, nebo jsou vyměnitelné. Břitové destičky jsou otočné, takže po otupení jedné řezné hrany se destička otočí beze změny řezného průměru nástroje. Pro těžkoobrobitelné materiály jsou břitové destičky z PKD. Používají se pro drážkování,
- srovnávací frézy – řezným materiálem je slinutý karbid nebo PKD,
- falcovací frézy, viz obr. 2.1 – tzv. polodrážkovací. Mají buď otočné výměnné nože, nebo jsou řezné části připájené. Nástroj má předřezávací zuby a hlavní, řezné zuby. Hlavní zuby bývají uloženy s axiálním úhlem pro kvůli plynulejšímu záběru a kvůli menšímu štípání na hraně obráběného materiálu [5].

Obr. 2.1 Falcovací fréza [5].

b) Tvarové frézovací nástroje:

- Tvarové rádiusové frézy, viz obr. 2.2 – jsou to frézy na zaoblení hran nebo pro výrobu rádiusových profilů,



Obr. 2.2 Tvarová fréza [5].

- univerzální tvarové frézy – různé typy nožových hlav s vyměnitelnými noži spojené s hlavou tvarovým spojem,
- frézovací soupravy na pero a drážku,
- frézy na výrobu podélného ozubeného spoje,
- frézy na výrobu příčného ozubeného spoje,
- sady tvarových nástrojů pro rohové spojení nábytkových dvířek a interiérových dveří,
- tvarové frézy na výplně [5].

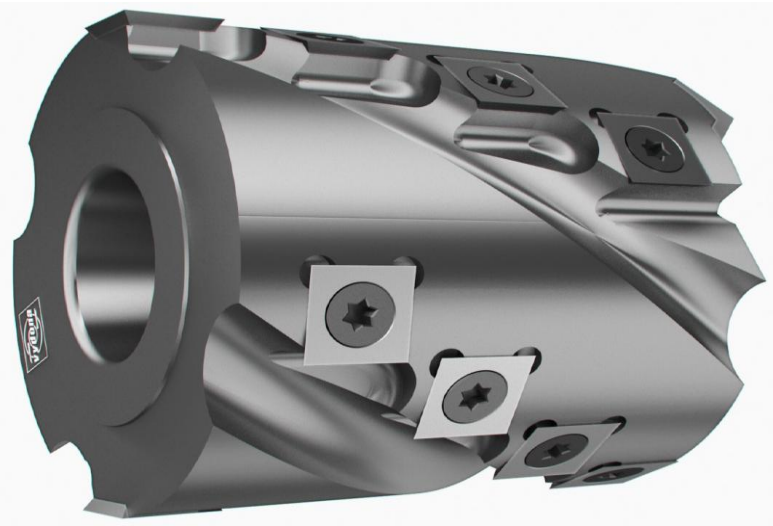
2.5 Výrobky firmy Vydona s.r.o.

Firma Vydona se zabývá výrobou fréz obrábějících dřevo, plasty a kovy. Technologická vyspělost jí dovoluje vyrábět frézy:

- drážkovací frézy – HS nebo HW břitové destičky s přímým ostřím, určené k podélnému i příčnému drážkování dřeva,
- frézy půlkruhové a čtvrtkruhové – HS nebo HW břitové destičky, určené k podélnému i příčnému frézování do měkkých i tvrdých dřev nebo k rozšíření drážek do dřevotřískových desek. Možnost nastavení šířky drážky po 0,1 mm pomocí distančních kroužků,
- úhlové frézy – HS nebo HW. Frézování měkkých a tvrdých dřev,
- frézy na zásmolky, obr. 2.3 – HS nebo HW. 4 břitové destičky se střídavě šikmým ostřím,

Obr. 2.3 Fréza na zásmolky [5].

- vícebřitá spirálová frézovací hlava, obr. 2.4 – HW pájené nebo vyměnitelné destičky. Mají buď 12, nebo 16 řad zubů. Jsou jednochodé nebo dvouchodé ,

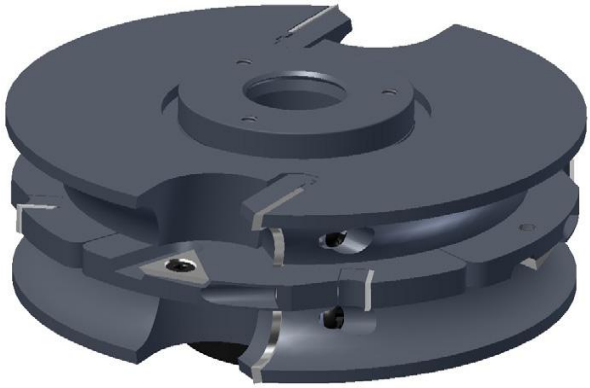


Obr. 2.4Vícebřitá spirálová frézovací hlava [5].

- falcovací frézy – HW výměnné a nožíky ze slinutých karbidů. Určené pro frézování rovných ploch a osazení,
- profilové frézy na madla a lišty – HS nebo HW břitové destičky. Pro měkká a tvrdá dřeva,
- spárovací frézy, viz obr. 2.5 - HS nebo HW břitové destičky. K podélnému nebo bočnímu spárovému spojovaní tvrdých a měkkých dřev,

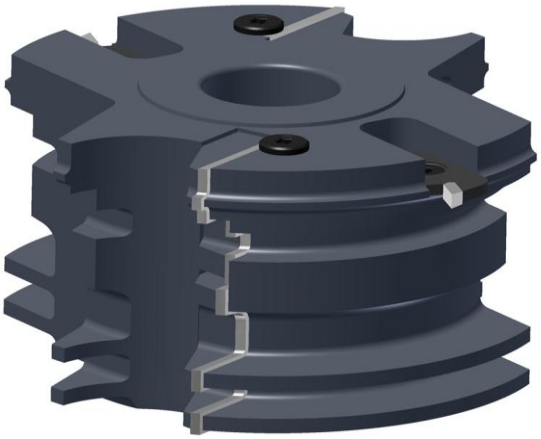
Obr. 2.5 Spárovací fréza [5].

- sady profilových fréz na dveře, viz obr. 2.6 – HS břitové destičky určené pro měkká dřeva, HW břitové destičky určené pro tvrdá dřeva. Stavitelné pomocí distančních kroužků,



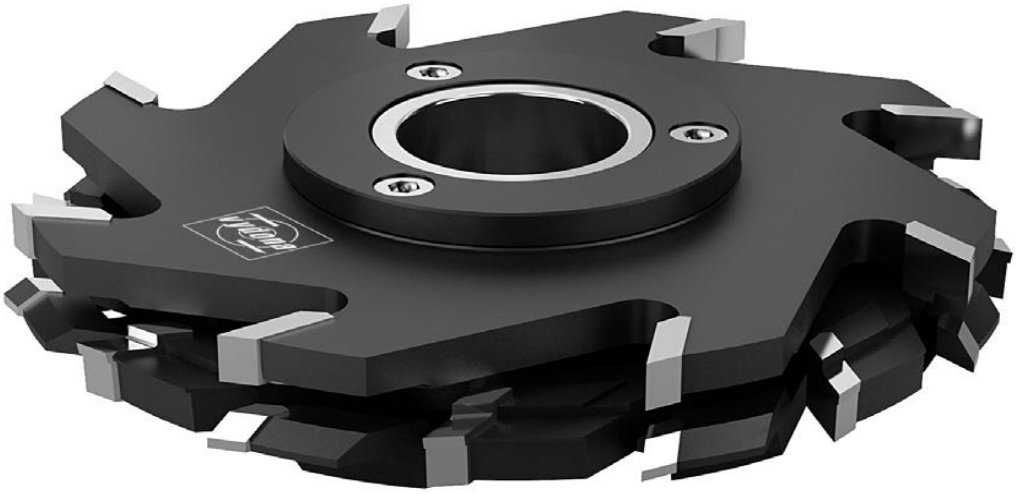
Obr. 2.6 Sada profilových fréz na dveře [5].

- frézy na výplně dveří - HS břitové destičky určené k podélnému frézování měkkého dřeva. HW břitové destičky určené k podélnému a příčnému frézování měkkého dřeva,
- frézy na obložky, viz obr. 2.7,



Obr. 2.7 Fréza na obložky [5].

- sady fréz na pero a drážku, viz obr. 2.8,



Obr. 2.8 Sada fréz na pero a drážku [5].

- sady fréz na okna,
- sada fréz na vchodové dveře,
- nástroj UNI – PROFI, viz obr. 2.9 – je to univerzální nástroj pro CNC obráběcí centra s HW profilovými noži. Možnost upravit na jakýkoliv typ profilu. Používá se pro obrábění dřevěného masivu a deskových materiálů. Mají pravý nebo levý smysl otáčení. Možnost rychlé výměny profilových nožů, bezpečné a přesně polohované upnutí,

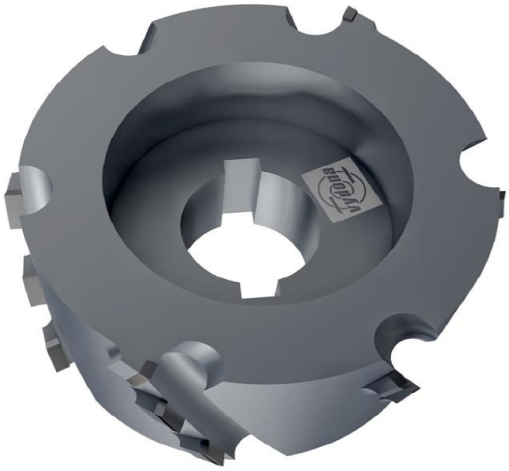
Obr. 2.9 UNI – PROFI nástroj [5].

- stavitelná zaoblovací sada s falcováním, viz obr. 2.10,

Obr. 2.10 Stavitelná zaoblovací sada s falcováním [5].

- stopkové frézy – jsou to HW monolitní frézy,

- DIA nástroje, viz obr. 2.11 – jsou stopkové nebo nástrčné nástroje. Frézy jsou osazeny pájenými PKD břity skloněnými pod střídavě axiálním úhlem,



Obr. 2.11 Nástroj s PKD břity [5].

- bezpečnostní frézovací hlavy,
- univerzální frézovací hlavy, viz obr. 2.12 [6].

Obr. 2.12 Univerzální frézovací hlava [5].

2.6 Řezání břitových destiček v současných podmínkách

Firma Vydona v současné době vlastní technologii umožňující elektroerozivní drátové řezání. Ve vlastnictví firmy je drátová řezačka FANUC ROBOCUT α-1iD. Takže jsou břitové destičky z PKD, NO a SK hrubovány na tomto stroji pracovní část stroje na obr. 2.13.

Obr. 2.13 Pracovní část FANUC ROBOCUT α-1iD.

Základní informace o stroji jsou uvedeny v Tab. 2.1.

Tab. 2.1 Základní informace o stroji [6].

Maximální rozměry obrobku	1050 x 820 x 300 mm
Maximální rozměry obrobku	1000 kg
Pojezd stolu X,Y	600 x 400 mm
Pojezd osy Z	310 mm
Pojezdy os U a V	$^{+}_{-}$100mm x $^{+}_{-}$100mm
Maximální rychlost posuvu stolu	900 mm/min
Průměr drátu	Ø 0,1 mm až Ø 0,3 mm
Rychlost navlékání drátu	0 až 0,15 m/min
Minimální pojezd stolu	0,0001 mm
Maximální úhel úkosu	$^{+}_{-}$30° / 150 mm

3 ROZBOR MOŽNOSTÍ MODERNIZACE STROJNÍHO PARKU NEKONVENČNÍ LASEROVOU TECHNOLOGIÍ

Firma Vydona s.r.o. vyrábí obráběcí nástroje. Ty jsou opatřeny břitovými destičkami z materiálů, jako jsou rychlořezné oceli, slinuté karbidy a destičky polykrystalického diamantu.

Z polotovarů těchto materiálů jsou vyřezávány břitové destičky různých tvarů s přídavkem, které jsou dále broušeny na konvenčních strojích. V současné době jsou břitové destičky řezány elektroerozivní drátovou řezačkou. Doba řezání destiček je poměrně vysoká, což je hlavní problém této metody. Narůstající poptávka, hlavně po nástrojích s výměnnými břitovými destičkami z polykrystalického diamantu roste a drátová řezačka kvůli své dlouhé době řezu nestačí uspokojit poptávku po těchto nástrojích.

Proto se firma rozhodla rozšířit svůj strojní park o další technologii. A to konkrétně o laserovou technologii, kterou bude možné vyřezávat polotovary všech výše zmíněných materiálů za výrazně kratší dobu.

3.1 Požadavky na laser

Důležitým parametrem je, aby laser byl schopný řezat supertvrdé materiály jako PKD, CBN nebo slinuté karbidy. Tyto materiály a jejich přísady se vyznačují poměrně špatnou schopností absorbovat laserové záření. To samé platí o teplené vodivosti těchto materiálů. Tepelná vodivost je také poměrně špatná.

Tyto vlastnosti způsobují nežádoucí efekty vznikající okolo řezu. A to hlavně pro jejich nízkou tepelnou vodivost, lokální přehřátí materiálu vedoucí ke vzniku prasklin. Pak má tavenina vzniklá při zahřátí laserovým paprskem vysokou viskozitu. To znamená, že slabě teče, lepí se a tuhne na okrajích řezu a tím pádem je celková drsnost velmi vysoká a struktura stěn řezu je kanálová.

Z důvodů špatných vlastností absorpce záření a tepelné vodivosti jsou lasery pracující v kontinuálním režimu s velkou vlnovou délkou prakticky nepoužitelné. Proto bylo jasné, že firma Vydona musí hledat jiný typ laseru, než jsou plynové CO_2 lasery.

Firma měla samozřejmě další požadavky na laser. A to například jak velký má být pracovní prostor, schopnost řezat tvrdé materiály s určitou hloubkou tepelně ovlivněné vrstvy, chlazení dusíkem nebo vzduchem a další. Proto vypsala výběrové řízení, kde všechny požadavky zohlednila.

3.2 Výběrové řízení

V červnu 2011 firma vypsala tedy výběrové řízení na CNC řezací laser na řezání supertvrdých materiálů.

Požadavky uvedené ve výběrovém řízení na laser jsou uvedeny v tabulce Tab 3.1:

Tab. 3.1 Požadavky výběrového řízení firmy Vydona [6].

Parametr	Minimální požadavek vyhlašovatele stanovený zadávací dokumentací
pracovní prostor - dělení laserem	2000 x 1000 mm (možnost zpracování tabule plechu)
5 - tá osa rotační stůl	min. 200 mm
Zakládací prostor pro obrobek pro 5ti-osé obrábění	min 500 mm
Možnost řezání PKD pod úhlem	min. 30°
Řídící systém + software+ dokumentace	v českém jazyce
Příkon max.	do 20 kW, max 3x32 A
Chlazení	dusík / vzduch
Max. rozměry kompletního zařízení	musí se vejít do místnosti 4,5 x 6 m
Max. hmotnost celkem	2500 kg
Max. tepelně ovlivněná zóna řezu u všech materiálů:	
PKD	max +/- 0,1 mm
HW	max +/- 0,3 mm
ostatní	max +/- 0,5 mm
Min. rychlost řezání mm/min	
CBN 4,8 mm	10
PKD 1,6 mm	100
PKD 3,2 mm	25
Ocel kalená 3 mm	400
Nerez ocel 3 mm	400
HW 3 mm	70
HW 5mm	25
Al 2 mm	80

Na výběrové řízení se přihlásil pouze jeden dodavatel. A to slovenská firma Seiffert&Schmeringa Lasersystems s.r.o., která splňovala všechny podmínky zadané firmou Vydona.

Nabídka Seiffert&Schmeringa Lasersystems s.r.o. obsahovala tedy nakonec dodávku 5- osého řezacího CNC zařízení určeného pro strojní průmysl. Řezací stroj s polohováním, řeznou hlavou a zdrojem laserového paprsku. Řídicí systém v českém jazyce, zdroj pro laser, chladící zařízení.

Předmětem plnění zakázky dále zahrnovalo dodání kompletní dokumentace, jako jsou pokyny k obsluze, údržbě a pokynů týkajících se bezpečnosti. Vše musí být v českém jazyce. Dále dopravu do místa realizace, poskytování servisní podpory, proškolení zaměstnanců firmy na dodané technologii v rozsahu potřebném k osvojení všech funkcí.

Kompletní dodávka firmy Seiffert&Schmeringa Lasersystems s.r.o. tedy obsahuje:

- zdroj laseru a laserový rezonátor,
- skříň elektrorozvaděče a řízení laseru – vázáno s řídicím systémem,
- portálové zařízení s polohováním,
- odsávání pro vnitřní výstup filtrovaného vzduchu,
- chladící zařízení voda – vzduch,
- skříň elektrorozvaděče,
- software [7].

3.3 Vlastnosti laseru

Firmě Vydona byl nabídnut laser od firmy Lasag model FLS 352N – 302.

Lasery Lasag série FLS jsou flexibilní pulzní Nd:YAG lasery s vysokou průměrnou spotřebou a špičkovým výkonem pro hluboké řezání, svařování a vrtání. Díky své modulární konstrukci je k dispozici více než 30 různých laserových modelů.

Model Lasag FLS 352N – 302 je pulzní laser s vlnovou délkou 1,064 µm, buzený výbojkou s maximálním výkonem v pulzu 20kW, s energií v pulzu do 60J. Zdroj laseru je na obr. 3.1 [7].

Obr. 3.1 Zdroj modelu laseru Lasag FLS 352N – 302.

3.4 Popis jednotlivých částí Lasag FLS 352N – 302

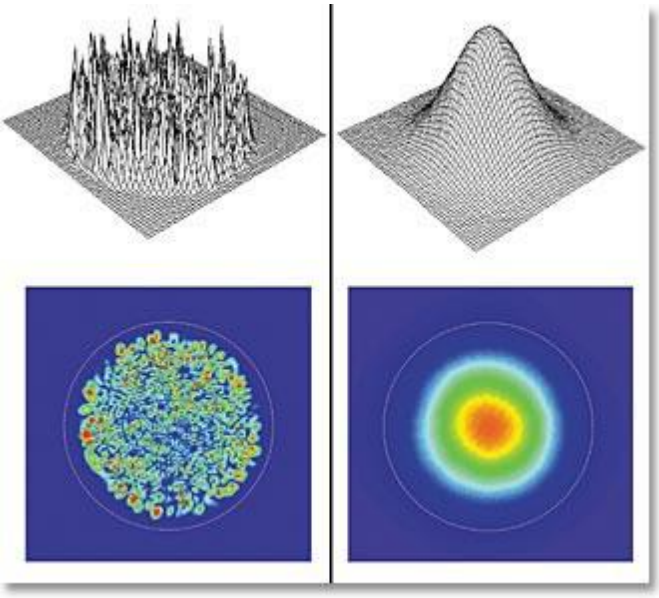
Laser lasag se skládá z částí popsaných níže.

3.4.1 Rezonátor, aktivní prostředí, čerpaní a optické vlastnosti

Jako základ je použitý čtyřpalcový Nd:YAG krystal čerpaný xenonovou pulzní výbojkou. Při maximálním možném čerpání a typu rezonátoru s paralelními zrcadly je schopný laser poskytovat průměrný výkon 300 W.

Kvalita paprsku při takovém rezonátoru je však poměrně nízká, což se projeví v praktické nemožnosti provrtat daný materiál v počátečním bodě řezání.

Pro porovnání uvádíme teoretický průběh intenzity laserového paprsku v závislosti od vzdálenosti od jeho středu pro kvalitní, tzv. Gaussův paprsek. Na obr. 3.2 je zobrazeno porovnání multimódového a Gaussovského paprsku [7].

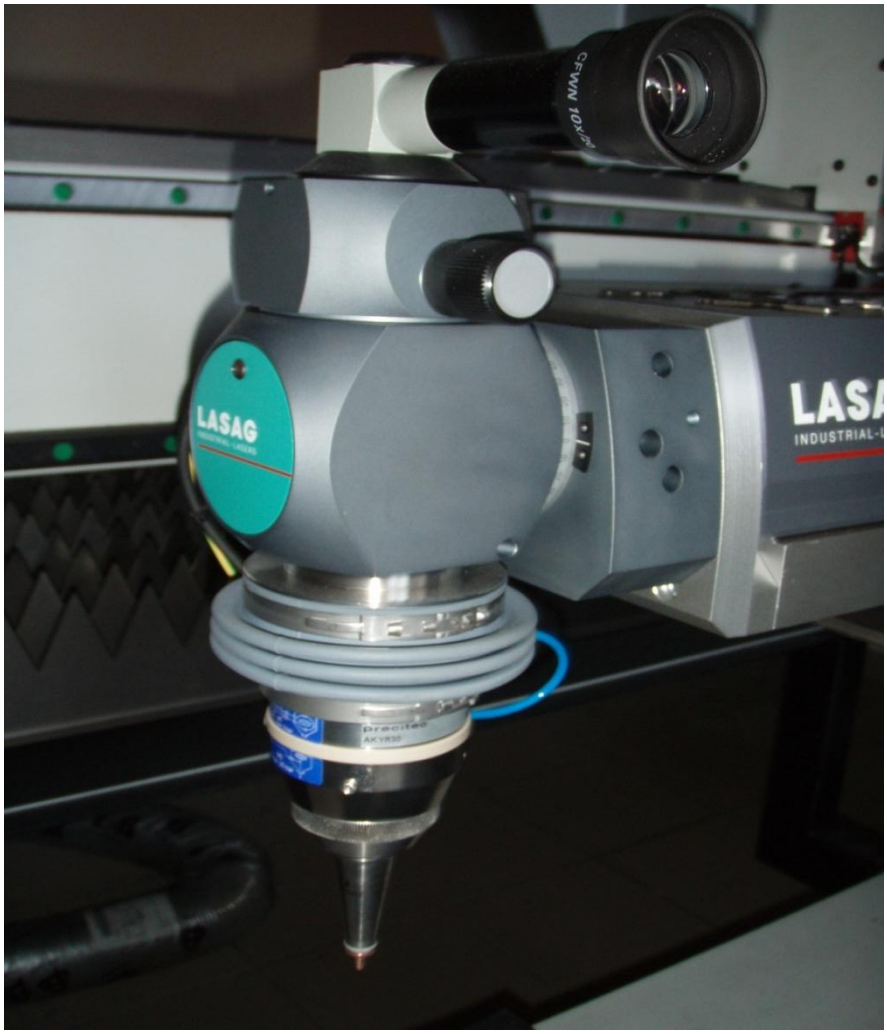


Obr. 3.2 Porovnání multimódového (vlevo) a Gaussovského paprsku (vpravo) [8].

Také tepelně ovlivněná vrstva v okolí řezu díky plochému průběhu výkonu v závislosti na vzdálenosti od středu paprsku je poměrně velká a dochází tak k velkému tepelnému zatěžování materiálu až ke vzniku trhlin a loupání povrchu.

3.4.2 Řezná hlava

Dále na výstupu z rezonátoru paprsek přechází přes optiku měření výkonu, servem ovládaným přestavitelným expandérem měnícím průměr paprsku v poměru 1:1 až 1:6 a nakonec vstupuje do řezné hlavy. Řezná hlava má fokusační čočku s f=100 mm. Čočka je chráněná před poškozením od výstřiků z řezaného materiálu výměnným ochranným sklem. Průměr dýzy, přes kterou proudí řezný plyn je 1mm. Když se jedná o zařízení, které se používá i na řezání tabulí plechu, kde se zvlnění pohybuje řádově i v milimetrech, je v této hlavě integrovaný kapacitní senzor měření vzdálenosti od povrchu řezaného materiálu. Celkové nastavení řezné hlavy je ve většině případů takové, aby fokus laserového paprsku byl umístěný na povrchu řezaného materiálu a odstup špičky dýzy od povrchu 0,7 mm. Řezná hlava je zobrazena na obr. 3.3 [7].



Obr. 3.3 Řezná hlava laseru Lasag.

3.4.3 Charakteristika optického čerpání

Elektrické řízení spolu s výkonovým zdrojem nám umožňuje čerpat xenonovou lampu proudovými pulzy v délkovém rozmezí od 0,1 milisekundy až do 20 milisekund s průměrným výkonem až do 10 kW. Časový průběh výkonu, který laser poskytuje je závislý na charakteristice čerpání xenonové výbojky. Uvedený laser poskytuje celou škálu možností tvarování výstupních pulzů, co se týká náběhové a sestupné hrany, čerpání délky pulzu, maximálního proudu a frekvence, kde konkrétní hodnoty závisí na typu řezaného materiálu, jeho fyzikálních vlastností a rozměrů [7].

3.4.4 Řezný plyn

Při řezání laserem se část materiálu odpařuje, větší část se však nataví a odstraní se z řezu vyfouknutím pomocí řezného plynu. V případě, kdy je řezným plynem dusík, natavený materiál lépe teče a je unášený řezným plynem ven z řezu, kde je však mnohem více náchylný ztuhnout na jeho chladné spodní straně a vytvořit tak tzv. návarek. Řez je však čistější, bez opalků a zoxidovaných vrstev. Při použití vzduchu jako řezného plynu, roztavený materiál se vzduchem reaguje, a velká část je vyfukována z řezu jako oxidy v podobě prachu. Při použití vzduchu se návarky nevytvářejí tak intenzivně jako při použití

dusíku. Povrch řezu však bývá zoxidovaný a často opálený. Při řezání PKD pomocí vzduchu dosáhneme sice asi o 20-30% větší rychlost řezání, ale tepelně ovlivněná vrstva se z obvyklých 0,03 – 0,05 mm může zvětšit až na 1mm, přičemž hrana řezu přímo na PKD je viditelně zaoblená a nerovná [7].

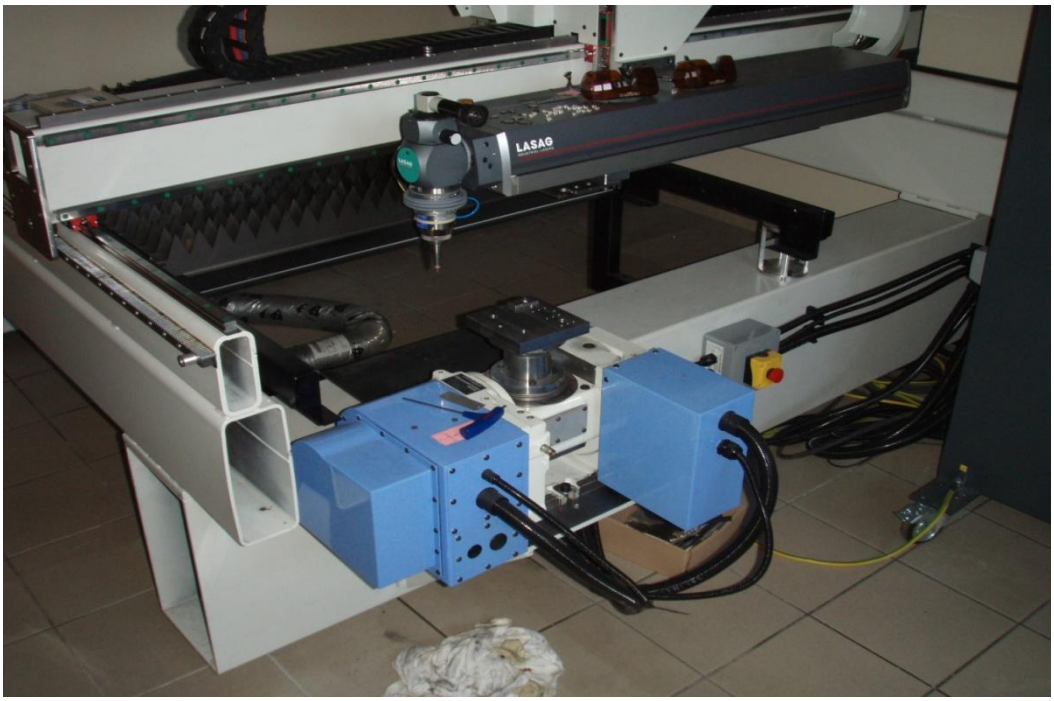
3.4.5 Konstrukční data, viz. Tab. 3.2

Tab 3.2 Konstrukční data laseru Lasag [7].

Rozměr zdroje [mm]	Š x V x D	1760 x 780 x 1410
Rozměr rezonátoru [mm]	Š x V x D	1276 x 200 x 115
Hmotnost zdroje [kg]		560
Hmotnost rezonátoru [kg]		35

3.4.6 Portálové zařízení s polohováním

Polohovací zařízení musí mít posuvy v osách X, Y a Z minimálně 2000 x 1000 x 300 mm. Polohování obsahuje rotační naklápěcí stůl o průměru D=200 mm. Polohovací zařízení je na obr. 3.3 [7].



Obr. 3.3 Portálové zařízení s polohováním [7].

3.4.7 Výkony laserů při řezání tvrdých materiálů

V tabulce Tab. 3.3 jsou uvedeny charakteristiky řezného procesu, jak udává dodavatel laserového zařízení.

Tab. 3.3 Charakteristiky řezného procesu [7].

materiál	tloušťka [mm]	řezný plyn/tlak plynu [Mpa]	řezná rychlost [mm x min^{-1}]
CBN	4,8	Dusík / 0,6	10
PKD	1,6	Dusík / 1,0 nebo Vzduch /1,2	80
PKD	3,2	Dusík / 1,0 nebo Vzduch /1,2	30
Kalená ocel	3	Dusík / 1,0	350
Nerez ocel	3	Dusík / 1,0	350
HW	3	Dusík / 1,0	80
HW	5	Dusík / 1,0	30
Al	2	Dusík / 1,0	90

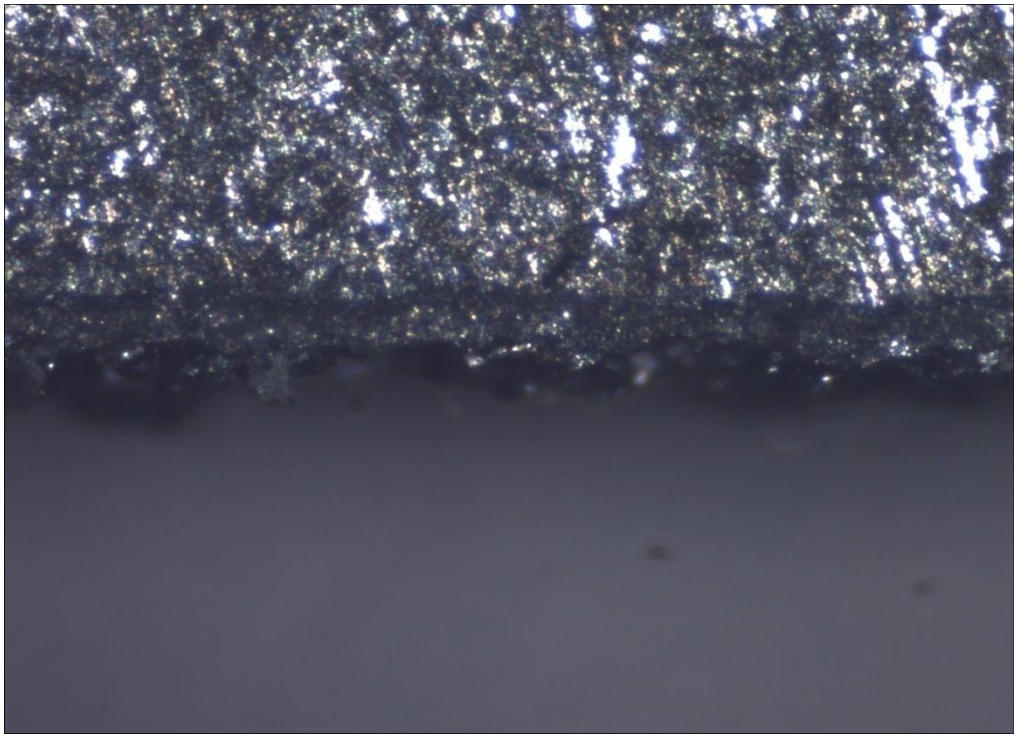
3.5 Volba řezného plynu

Při volbě řezného plynu se vychází také z výběrového řízení, kde je požadavek na přívod plynu do místa řezu. K dispozici byly dvě varianty. A to buď přivádět do místa řezu dusík, nebo vzduch. Pro všechny varianty je třeba mít plyn pod tlakem od 1,0 Mpa do 1,2 MPa při průtoku cca 6 $m^3 \cdot hod^{-1}$.

Při volbě dusíku je třeba dusíku z tlakových lahví s minimální čistotou 4.0, to znamená s čistotou 99,99%. Je možnost použít i dusík s čistotou 3.0, ten ale musí být zbavený prachu a vody. Další možností by bylo zakoupit generátor dusíku, který by byl schopen vytvářet dusík požadované kvality.

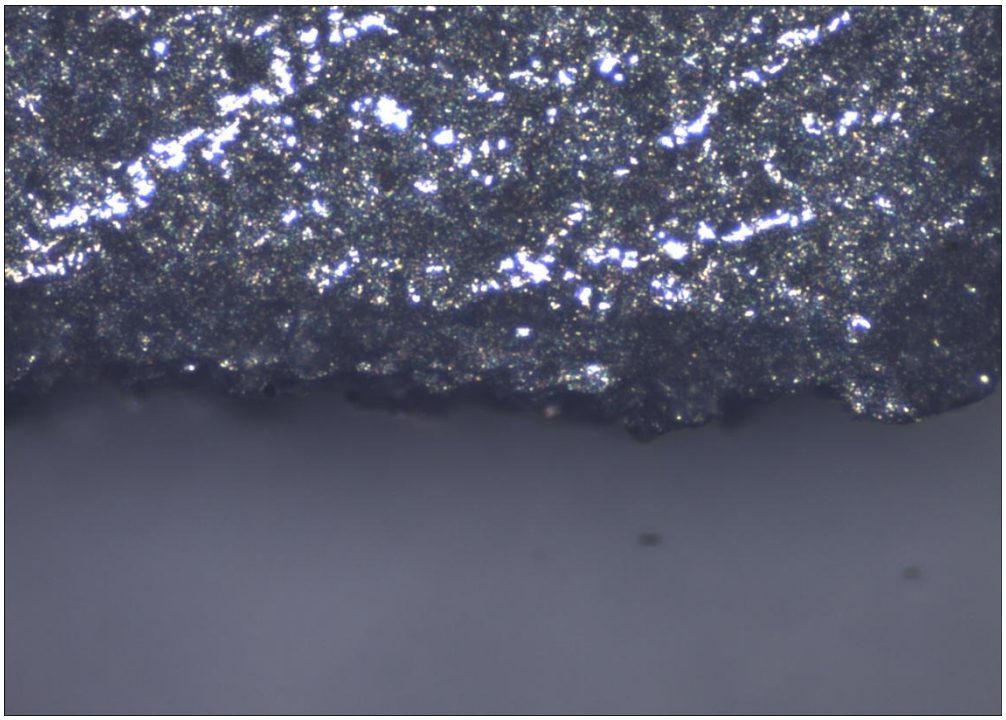
Druhá varianta přivádění vzduchu do řezu si vyžaduje také vzduchu pod tlakem z plynových lahví, kde je vzduch zbavený nečistot. Možná je i varianta vzduchu dodávaného kompresorem. Tento vzduch je plný nečistot, proto je třeba filtračního zařízení, který zbaví vzduch nečistot. Čistý vzduch je pak možné dodávat do místa řezu.

Při řezání PKD s přívodem dusíku do místa řezu je dosahováno o něco nižších hodnot hloubky tepelně ovlivněné vrstvy, viz obr. 3.4 v porovnání s přívodem vzduchu do místa řezu, viz obr. 3.5. Jelikož v podmínkách firmy Vydona se při řezání břitových destiček z PKD jedná pouze o operaci hrubovací a na hrubované břitové destičce jsou potřebné přídavky, nehraje volba řezného plynu z technologického hlediska velkou roli.



Obr. 3.4 Tepelně ovlivněná vrstva s přívodem stlačeného dusíku.

Tepelně ovlivněná vrstva na obr 3.4 má nejtmavší barvu a je ve spodní části řezu. Jde vidět, že povrch řezu při použití dusíku je poměrně rovný v porovnání se stlačeným vzduchem na obr. 3.5. Povrch po použití stlačeného vzduchu jako řezného plynu je členitý a tepelně ovlivněná vrstva je větší.



Obr. 3.5 Tepelně ovlivněná vrstva s přívodem stlačeného vzduchu.

Z hlediska ekonomického se jeví volba dusíku jako drahá. Za týden by bylo potřeba až 14 lahví dusíku čistoty 4.0. V potaz se také musí brát nutnost stále pro lahve s dusíkem dojíždět, což stojí čas dalšího pracovníka a pohonných hmot. Generátor dusíku se také nejeví jako ideální volba, protože by to byl jednoúčelový stroj využívaný pouze pro obrábění laserem.

Proto se firma Vydona rozhodla pro volbu vzduchu. Vzduch z lahví by také nebyla dobrá volba. Stejně jako u dusíku v lahvích stojí dojíždění pro lahve další čas a pohonné hmoty. Jako nejlepší volba pro firmu se jeví volba vzduchu dodávaného kompresorem a zbaveného nečistot. V současných podmínkách je k dispozici kompresor, který je využíván všeobecně v dílenském provozu, např. dodává vzduch pod tlakem pro ofukování obrobků. Tento kompresor ovšem není schopný dodávat vzduch pod stálým tlakem 1,2 MPa k zařízení laseru a na provoz dílny. Také chybí zařízení, které by zbavilo vzduch nečistot, aby bylo možné ho přivádět do řezu. I tak bylo rozhodnuto, že se pořídí nový výkonnější kompresor s větším vzdušníkem a filtrační zařízení. Kompresor by nebyl jednoúčelový stroj jako generátor dusíku. Takže bylo nutné najít vhodný kompresor a filtrační zařízení, které by bylo schopno dodávat nepřetržitě vzduch pod tlakem 1,2 MPa.

3.6 Kompresor a filtrační zařízení

Při výběru kompresoru a filtračního zařízení byla oslovena firma JANUŠKA KOMPRESORY s.r.o. Ta dle požadavků nabízí rakouský pístový kompresor AIRKO, který je schopen dodávat nepřetržitě vzduch pod tlakem 1,2 až 1,5 Mpa. Ke kompresoru je vhodné pořídit i filtry pro odstranění nejhrubějších nečistot. Filtry jsou na výstupu z tlakové nádoby kompresoru. Pro vzduch zbavený nečistot je také vhodné pořídit automatické odkalování tlakové nádoby, které zároveň zpracuje odpadní kondenzát.

Celková sestava týkající se kompresoru tedy obsahuje:

- pístový kompresor AIRKO ty H 759 – 300, snese až 100% zátěž,
- cyklónový odlučovač typ CLK 007 B Standard s automatickým uváděčem,
- hrubý filtr typ AF 0076 P Standard s automatickým uváděčem,
- automatický odvaděč kondenzátu z tlakové nádoby typ ECD15 elektronický [9].

Specifikace pístového kompresoru je uvedena v tabulce Tab. 3.4, cyklonového odlučovače v tabulce Tab. 3.5, prachového filtru v tabulce 3.6 a odvaděče kondenzátu v tabulce 3.7.

Tab. 3.4 Charakteristika pístového kompresoru AIRKO typ H 759 – 300 [9].

Efektivní dodávané množství	31,6 m3·hod-1
Sací výkon	45,9 m3·hod-1
Maximální tlak	1,5 MPa
Počet válců	2
Počet stupňů	2
Výkon elektromotoru	3,8 kW
Otáčky	1450 1·min-1
Jmenovité napětí	230 V nebo 400 V
Hlučnost	79 dB
Hmotnost	152 kg
Délka x šířka x výška	1600 x 600 x 1100 mm

Tab. 3.5 Charakteristika cyklónového odlučovače typ CLK 007 B Standard [9].

Průtok vzduchu	155 $m^3 \cdot hod^{-1}$
Připojovací rozměr	½ “
S ručním odpouštěčem	2140 Kč
S automatickým plovákovým odváděčem	2900 Kč
S automatickým elektronickým odváděčem	6400 Kč

Tab. 3.6 Charakteristika hrubého filtru typ AF 0076 P Standard [9].

Filtrační schopnost	Pevné částice nad 3 µm
Průtok vzduchu	78 $m^3 \cdot hod^{-1}$
Připojovací rozměr	½ “
S ručním odpouštěčem	2695Kč
S automatickým plovákovým odváděčem	3455 Kč
S automatickým elektronickým odváděčem	6955 Kč

Tab. 3.7 Charakteristika automatického odváděč kondenzátu z tlakové nádoby typ ECD15 elektronický [9].

Odváděcí kapacita	15 $l \cdot hod^{-1}$
Maximální výkon kompresoru	558 $m^3 \cdot hod^{-1}$
Cena	4500 Kč

Firma JANUŠKA KOMPRESORY s.r.o. nabízí kromě kompresorů i filtrační zařízení, které zbaví vzduch nežádoucích nečistot. Dle podkladů ke stroji je nutná filtrace, která zajistí kvalitu vzduchu dle ISO 8573.1 – třída2. To znamená vzduchu bez mechanických nečisto na úrovni 0,01µm a olejových nečistot na úrovni 0,01 $g \cdot m^{-3}$. Zařízení je dimenzováno pro provoz nového stroje, sušička neslouží jako centrální, ale je instalována před spotřebičem pro úpravu stlačeného vzduchu.

Celková sestava týkající se filtračního zařízení obsahuje:

- absorpční sušič Dominic Hunter typ DAS3,
- submikrofiltr AF 007 S umístěn na vstupu zařízení,
- koncový filtr s aktivním uhlím AF0076 A na výstupu zařízení [9].

Specifikace sušiče je v tabulce Tab. 3.8, submikrofiltru v tabulce Tab. 3.8 a koncového filtru v tabulce Tab. 3.9.

Tab. 3.7 Charakteristika absorpčního sušiče Dominic Hunter typ DAS3 [9].

Tlakový rosný bod	-40°C
Průtok vzduchu	13,6 $m^3 \cdot hod^{-1}$
Maximální provozní tlak	1,5 Mpa
Minimální provozní tlak	0,4 Mpa
Napájení	230 V
Délka x šířka x výška	289 x 149 x 616 mm
Hmotnost	16 kg
Maximální vstupní teplota	50°C

Tab. 3.8 Charakteristika submikrofiltru AF 007 S umístěného na vstupu zařízení [9].

Filtrační schopnost	Pevné částice nad 0,01µm
Zbytkový obsah oleje	0,01 $g \cdot m^{-3}$
Průtok vzduchu	78 $m^3 \cdot hod^{-1}$ při 0,7 MPa
S automatickým plovákovým odváděčem	3455

Tab. 3.9 Charakteristika koncového filtru s aktivním uhlím AF0076 A na výstupu zařízení [9].

Filtrační schopnost	Pevné částice nad 0,01µm
Zbytkový obsah oleje	0,005 g·m-3
Průtok vzduchu	78 m3·hod-1 při 0,7 MPa
S automatickým plovákovým odváděčem	3455

3.7 Ochranné brýle

Při obrábění na laseru je třeba dbát bezpečnosti práce. Zejména důležité jsou ochranné brýle, které nám v případě odrazu paprsku laseru od obrobku mohou vážně poškodit zrakové orgány.

Ochranné brýle jsou součástí dodávky laseru. Brýle jsou představeny na obr. 3.6.

Obr. 3.6 Ochranné brýle.

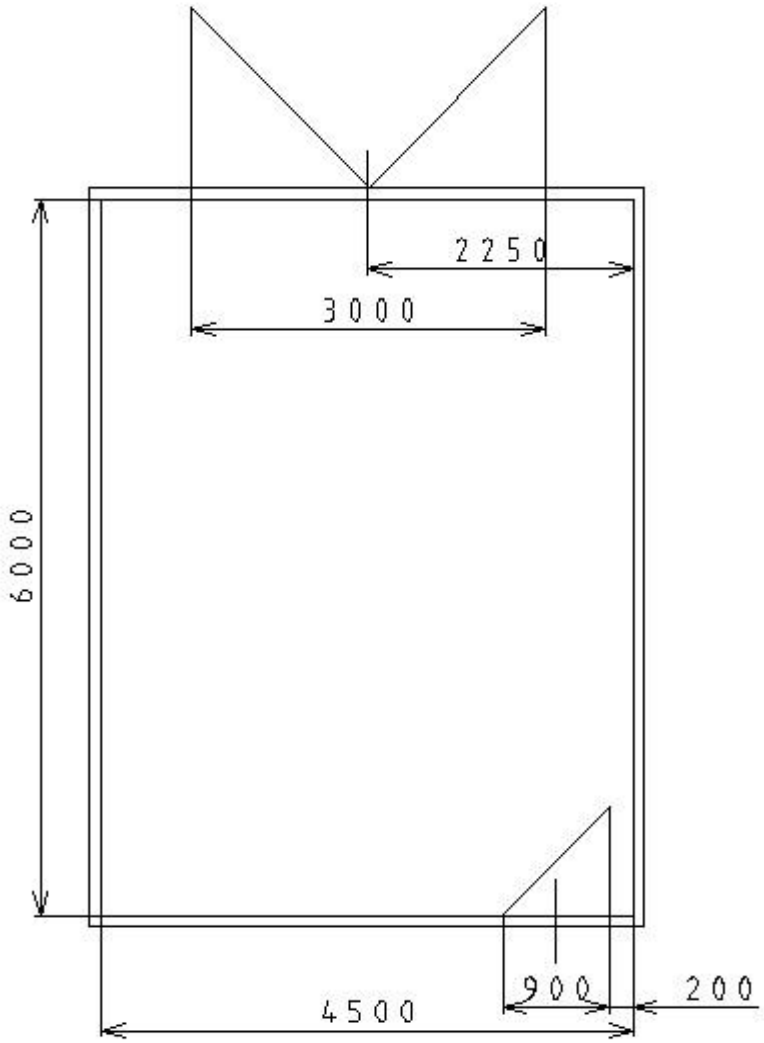
3.8 Brusný papír

Po vyřezání břitových destiček je nutné odstranit z polotovaru materiál, který zůstal přilepený zespodu na polotovaru. K tomu nám poslouží téměř jakýkoli brusný papír. Obecně je lepší volit hrubší brusný papír.

4 NÁVRH ŘEŠENÍ LASEROVÉHO PRACOVIŠTĚ

Ve firmě je nachystána dílna o rozměrech 4500 x 6000 mm, viz obr. 4.1. Do této dílny musely být dostavěny vrata široké 3000 mm, aby bylo možné do dílny nastěhovat pracovní stůl laseru. Kromě částí přímo souvisejících s laserovým zařízením muselo být počítáno také s místem pro odkládací prostor. V dílně se naopak nepočítá s kompresorem, který je již umístěn mimo dílnu pro laser. Odtud musely být nataženy stropem hadice k filtračnímu zařízení umístěným v dílně.

V dílně je také umístěno jedno topné těleso o délce jednoho metru, umístěného na pravé stěně 100 mm od pravého zadního rohu místnosti.

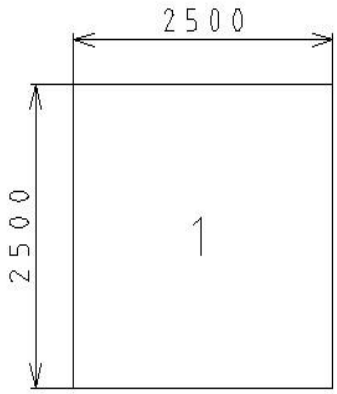


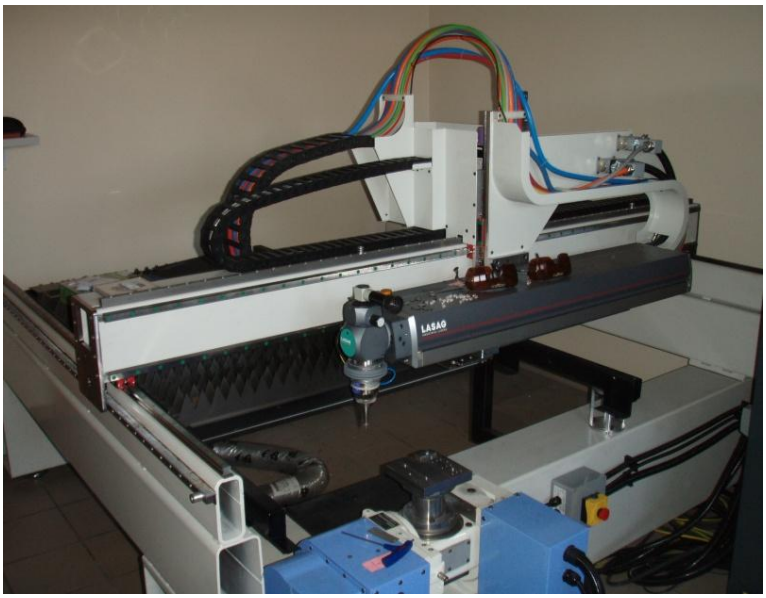
Obr. 4.1 Přichystaná dílna.

4.1 Jednotlivé části dílny

V každém návrhu dílny figuruje osm položek. Ve všech případech jsou položky stejné, kromě jednoho návrhu od dodavatele, který místo filtračního zařízení volí tlakové láhve. Na všech návrzích dílny jsou tedy položky číslovány stejně, a to:

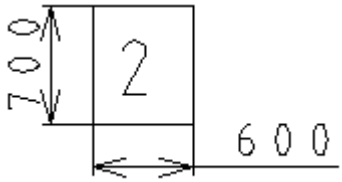
- číslo 1 má řezací portál s rezonátorem a řeznou hlavou. V půdoryse má rozměry 2500 x 2500 mm, nutný odstup od stěn je 300 mm, portál s rezonátorem a řeznou hlavou je zobrazen systematicky v půdoryse a na fotografii na obr. 4.2,





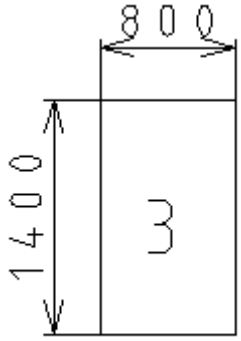
Obr. 4.2 Řezací portál s rezonátorem a řeznou hlavou, v půdoryse vlevo, fotografie vpravo.

- číslo 2 řídicí systém CNC s rozměry v půdoryse 600 x 700mm. Je to pojízdná skříňka na kolečkách, takže není nutný žádný minimální odstup od stěn nebo zařízení. Řídicí systém je v půdoryse a na fotce na obr. 4.3,



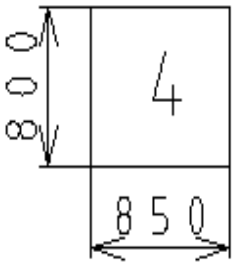
Obr. 4.3 Řídicí systém CNC, v půdoryse vlevo, fotografie vpravo.

- číslo 3 je zdroj laseru v půdorysu o rozměrech 1400 x 800mm,viz obr. 4.4, na fotce je zobrazen na obr. 3.3 v kapitole 3.4.2 Řezná hlava,



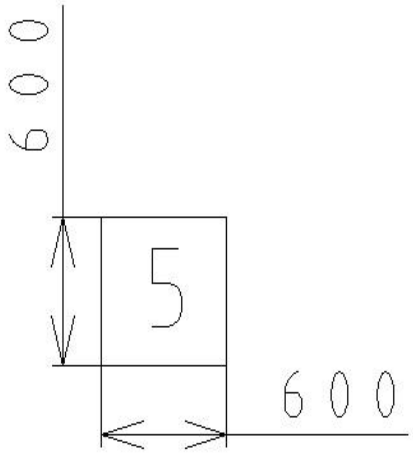
Obr. 4.4 Zdroj laseru v půdorysu.

- číslo 4 je chladící zařízení zdroje. V půdoryse 850 x 800 mm. Přední strana chladícího zařízení musí být volná kvůli nasávání vzduchu z místnosti, viz obr. 4.5,



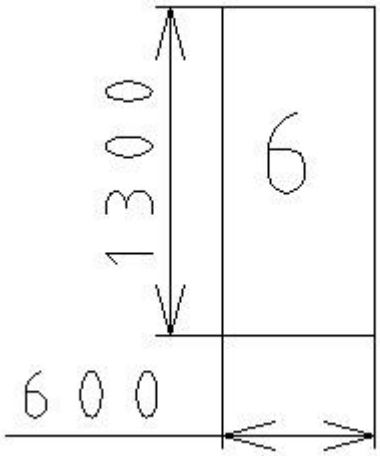
Obr. 4.5 Chladící zařízení, v půdoryse vlevo, fotografie vpravo.

- číslo 5 je odsávání, které nám odsává roztavený kov z řezu, v půdoryse 600 x 600 mm, v půdoryse viz obr. 4.6,



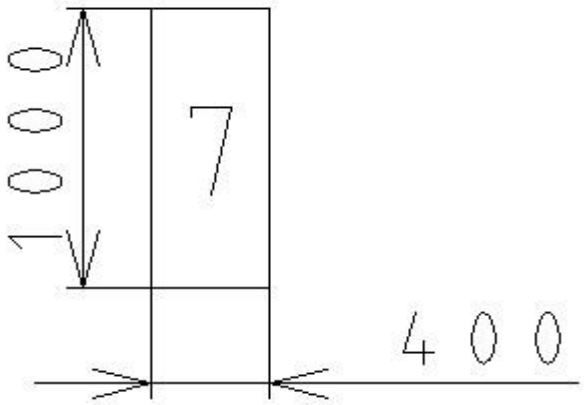
Obr. 4.6 Odsávání v půdoryse vlevo.

- číslo 6 je pracovní stůl o rozměrech 1300 x 600 mm, na který se pokládá přenosný počítač, v případě potřeby úpravy programu přímo v prostoru dílny, v půdoryse viz obr. 4.7,



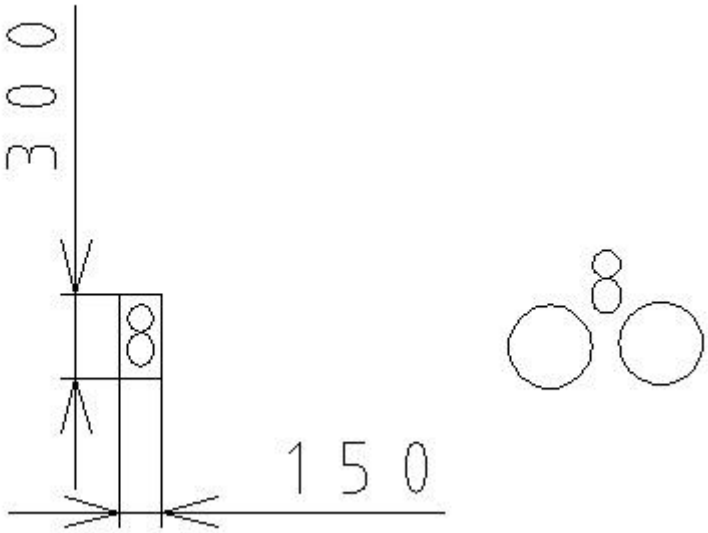
Obr. 4.7 Pracovní stůl.

- číslo 7 je odkládací stolek o rozměrech 1000 x 400 mm, kde se například obrušuje polotovar po dokončení řezání, v půdoryse viz obr. 4.8,



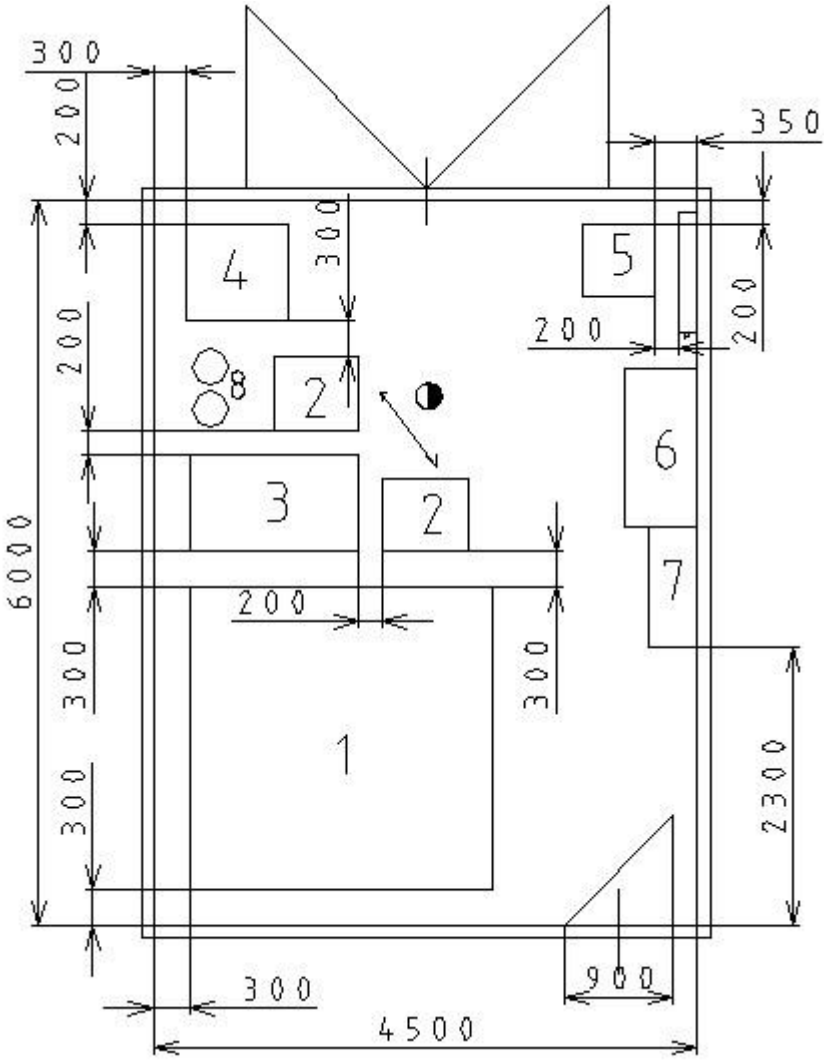
Obr. 4.8 Odkládací stolek.

- číslo 8 je v případě návrhu dílny dodavatelem sada dvou tlakových lahví, v mém návrhu dílny je to filtrační zařízení připevněné na stěně o rozměrech 289 x 149 mm v půdoryse, v půdoryse viz obr. 4.9,



Obr. 4.9 Filtrační zařízení v půdoryse vlevo, dvě tlakové lahve vpravo.

4.2 Návrh dílny od dodavatele



Obr. 4.10 Návrh dílny od dodavatele.

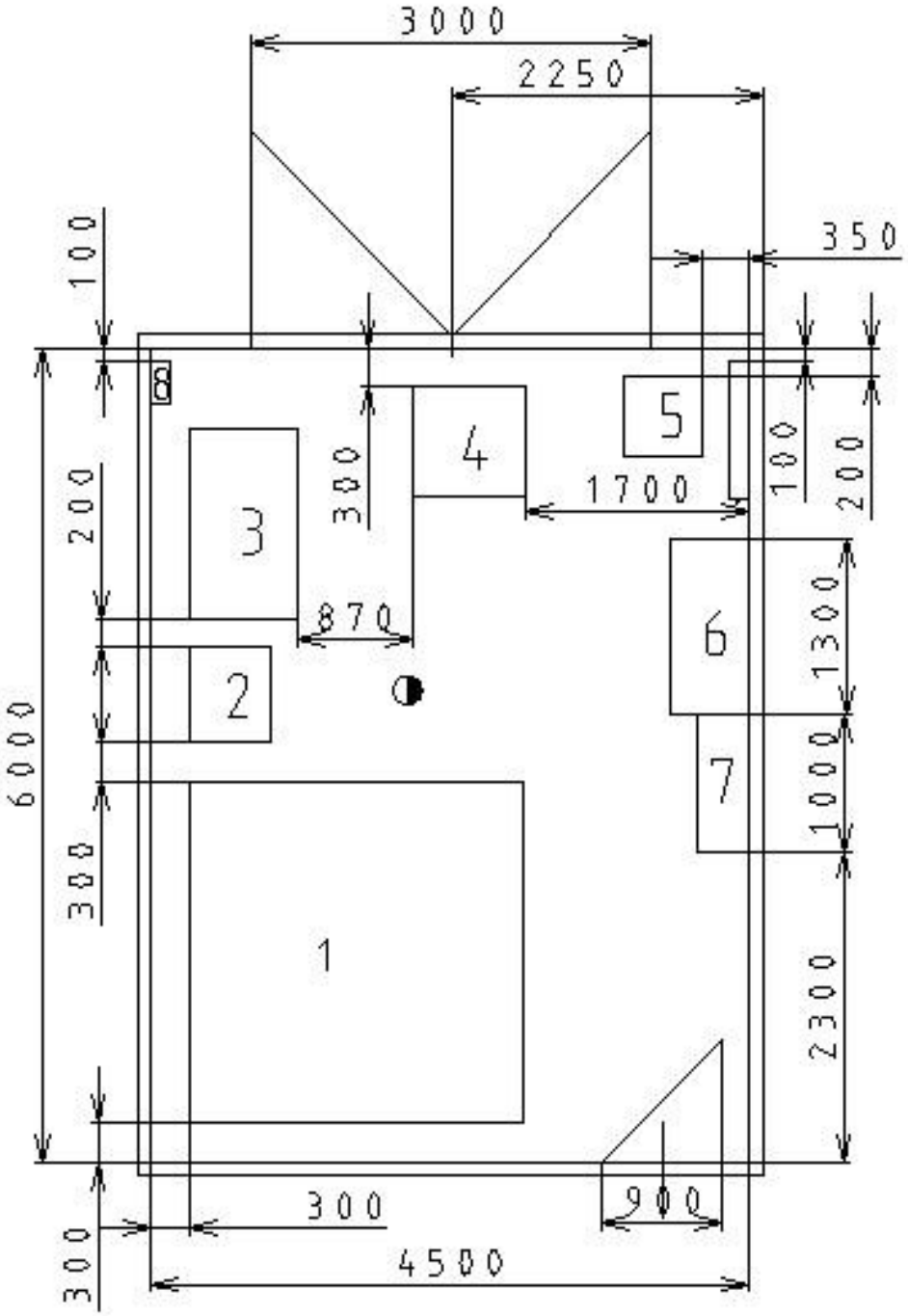
Tento návrh, viz obr. 4.10 od dodavatele by nebyl ideální z více důvodů. Muselo by se pohybovat s řídicím systémem (2), pokaždé když by bylo třeba zastavit ventily na tlakových lahvích (8). I když je řídicí systém (2) na kolečkách není ideální stále pojíždět s řídicím systémem.

Dalším problémem je odsávání (5), které je daleko od pracovní části. Hadice pro odsávání by musely být vedeny stropem a tím by se zbytečně prodlužovala dráha, kterou by žhavý kov musel urazit. To by mohlo vést k požáru.

Přední strana chlazení (4) je směrem do místnosti kvůli nasávání vzduchu.

Tato varianta je zamítnuta a hledá se lepší řešení. Ne s tlakovými lahvemi, ale s kompresorem mimo dílnu laseru a s filtračním zařízením v dílně laseru.

4.3 Návrh řešení 1

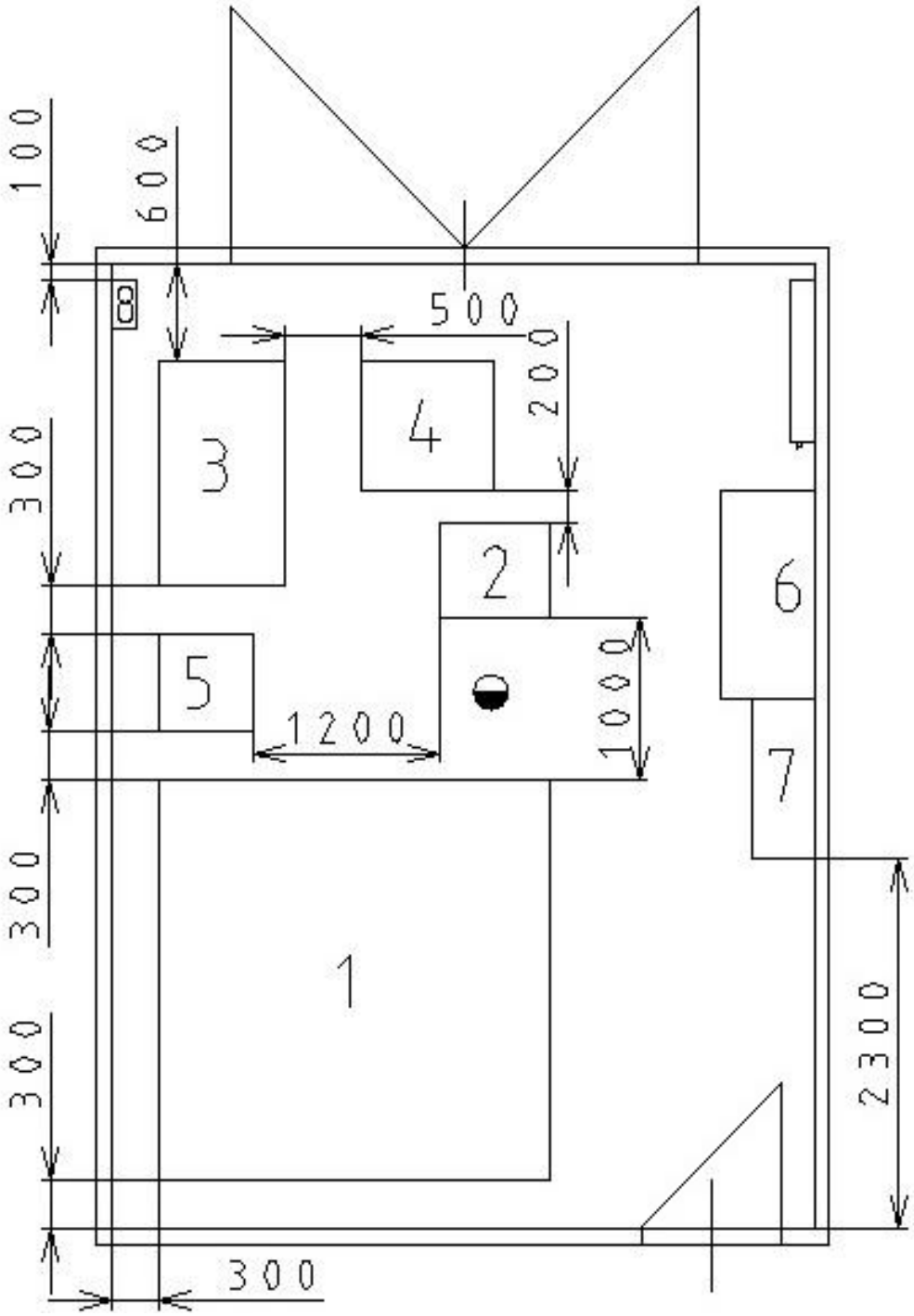


Obr. 4.11 Návrh řešení dílny 1.

Lépe řešené rozdělení komponentů na dílně, viz obr. 4.11. Stále však s problémem odsávání (5), které by vykazovalo stejné problémy jako v předchozím případě v kapitole 4.2 Návrh dílny od dodavatele.

Chlazení (4) správně natočeno s dostatkem místa pro nasávání vzduchu.

4.4 Návrh řešení 2



Obr. 4.12 Návrh řešení dílny 2.

Dílna, viz obr. 4.12 řešená způsobem posunutí odsávání (5) přímo k pracovnímu stolu (1), čímž by odpadly dlouhé trasy žhavého materiálu stropem a snížilo se riziko požáru. Větší pracovní prostor mezi řídicím systémem (2) a pracovním stolem (1). Potřeba vytočit chlazení (4) o 90°, aby chlazení bylo schopné nasávat potřebný objem vzduchu. Cestička široká 600 mm k filtračnímu zařízení (8) by měla být dostačující.

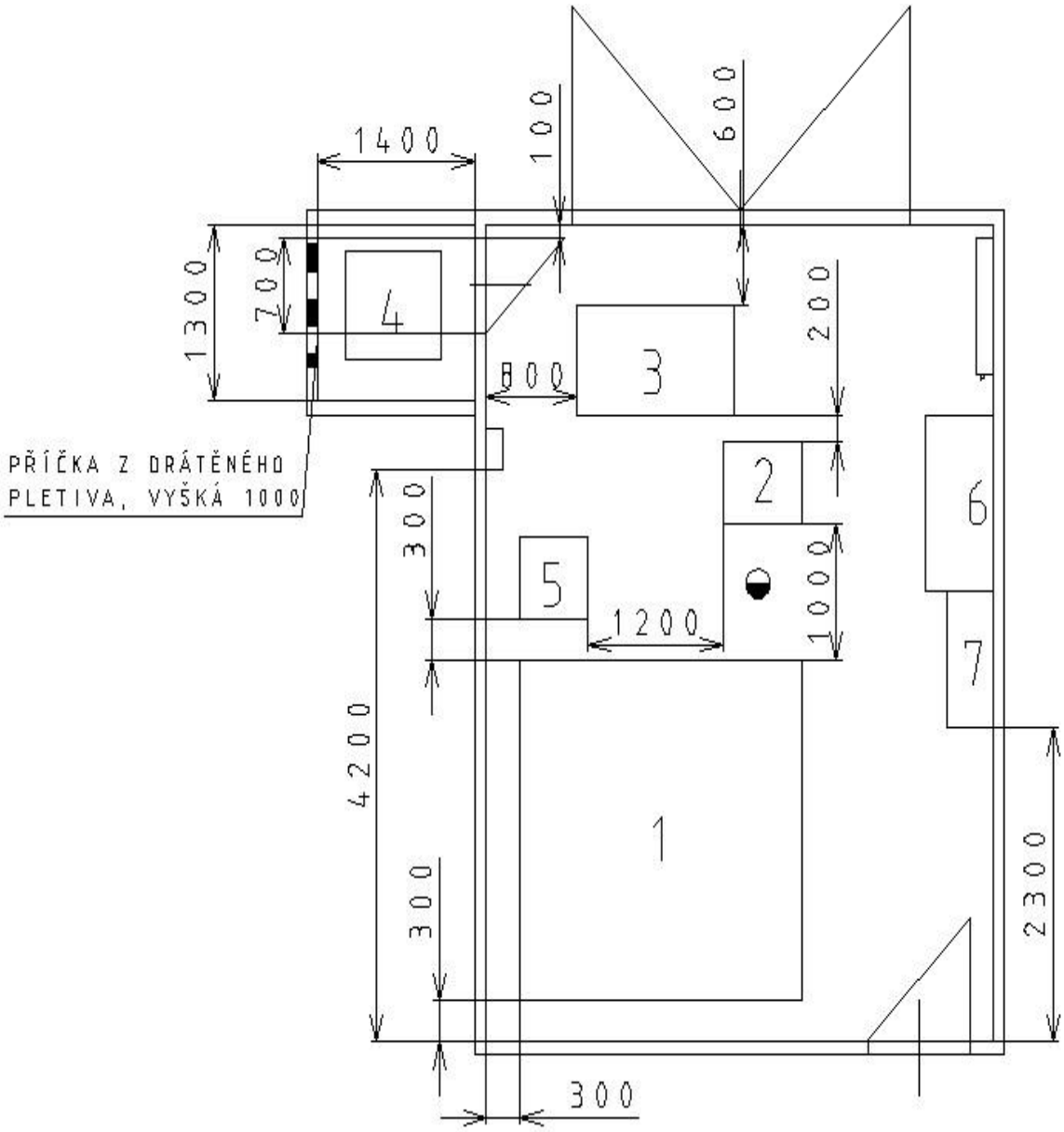
4.5 Návrh dílny do budoucna

Ve všech návrzích uspořádání dílny se nachází uvnitř dílny chlazení (4). Chlazení je hlučné a při sepnutí ventilátoru způsobuje v dílně průvan. To je nepříjemné obsluze laseru.

Proto firma do budoucna počítá s výstavbou malé vedlejší zděné místnosti, kde bude za dveřmi samostatně chlazení (4). Tím by měly odpadnout nepříjemnosti spojené s chlazením uvnitř dílny s ostatními částmi a obsluhou.

Místnost by měla být o rozměrech 1400 x 1300 mm v půdoryse. Měla by mít užší dveře šířky 700mm. Chlazení (4) je vytočené přední částí ven, kde nebude pevná zděná stěna, ale příčka z drátěného pletiva do výšky ventilátoru, tj. 1000 mm. Tím se dosáhne dostatečného proudění vzduchu do chlazení.

Návrh dílny do budoucna je na obr. 4.13.



Obr. 4.13 Návrh řešení dílny do budoucna.

5 TECHNOLOGICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY PRO VZOROVOU SOUČÁST

Při výrobě tvarových fréz s pájenými břitovými destičkami z PKD nebo HW, bylo dříve použito pro vyhrubování přebytečného materiálu z profilu operace řezání drátem. V případě, že ani drátová řezačka nestíhala zpracovat všechny zakázky, bylo nutné využít kooperace. Řezání drátovou elektrodou je pomalé a díky stoupající poptávce po nástrojích s PKD nebo HW řeznými břity nestíhá obrábění na drátové řezačce uspokojit poptávku. Proto se hrubování řezných břitů bude provádět laserem.

Před hrubováním břitové destičky je třeba určit správné přídavky. Z praxe je vyzkoušeno, že minimální přídavky jsou 0,2 mm. Obvykle se ale přidává alespoň 0,3 mm, jelikož polotovary jsou celkem malé, takže se s nimi při pájení těžko manipuluje.

Vyhrubované břitové destičky jsou dále zpracovány na profilových bruskách, takže požadavky na přesnost ani drsnost povrchu nejsou velké a v podmínkách firmy Vydona nejsou nijak řešeny a kontrolovány po operaci vyhrubování polotovaru.

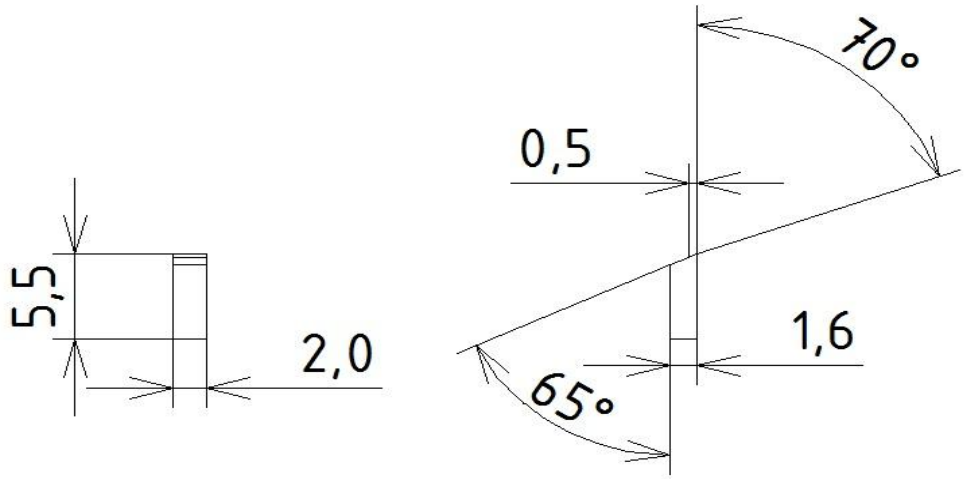
Z pokusů a idealizování celkového procesu bylo zjištěno, že na laseru je lepší vyhrubovací řez provést 2x, a to kvůli vyklepání vyhrubované řezné destičky z polotovaru. Po jednom vyhrubovacím řezu bylo třeba na vyklepnutí řezné destičky použít větší síly a to vedlo k lámání řezných destiček nebo k lámání polotovaru. Díky poměrně vysoké rychlosti řezu laseru se sice doba řezu prodlouží, ale i tak bude výrazně rychlejší, než kdyby se destičky řezaly na drátové řezačce.

5.1 Výkres výrobku

Dle požadavků zákazníka je zpracován výkres frézy, která bude funkční, vyrobitelná a bude plnit požadavky, které jsou na ni kladeny. Je narýsován model v CAD programu, a ten je dále zpracováván. Model frézy s PKD břitovými destičkami je na obr 5.1.

Obr 5.1 Model stopkové frézy [5].

Spolu s celou frézou musí také být zpracován výkres samotné břitové destičky. Příklad výkresu břitové destičky je v příloze 1, destička je zobrazena ona obr. 5.2.



Obr 5.2 Výkres břitové destičky.

Dále se určí konstrukční, technologické a hlavně kvůli pájení pomocné přídavky na funkčních částech břitové destičky a to jak už bylo řečeno alespoň 0,2 mm. Takže nakonec vznikne výkres břitové destičky zvětšený o přídavky na funkčních částech.

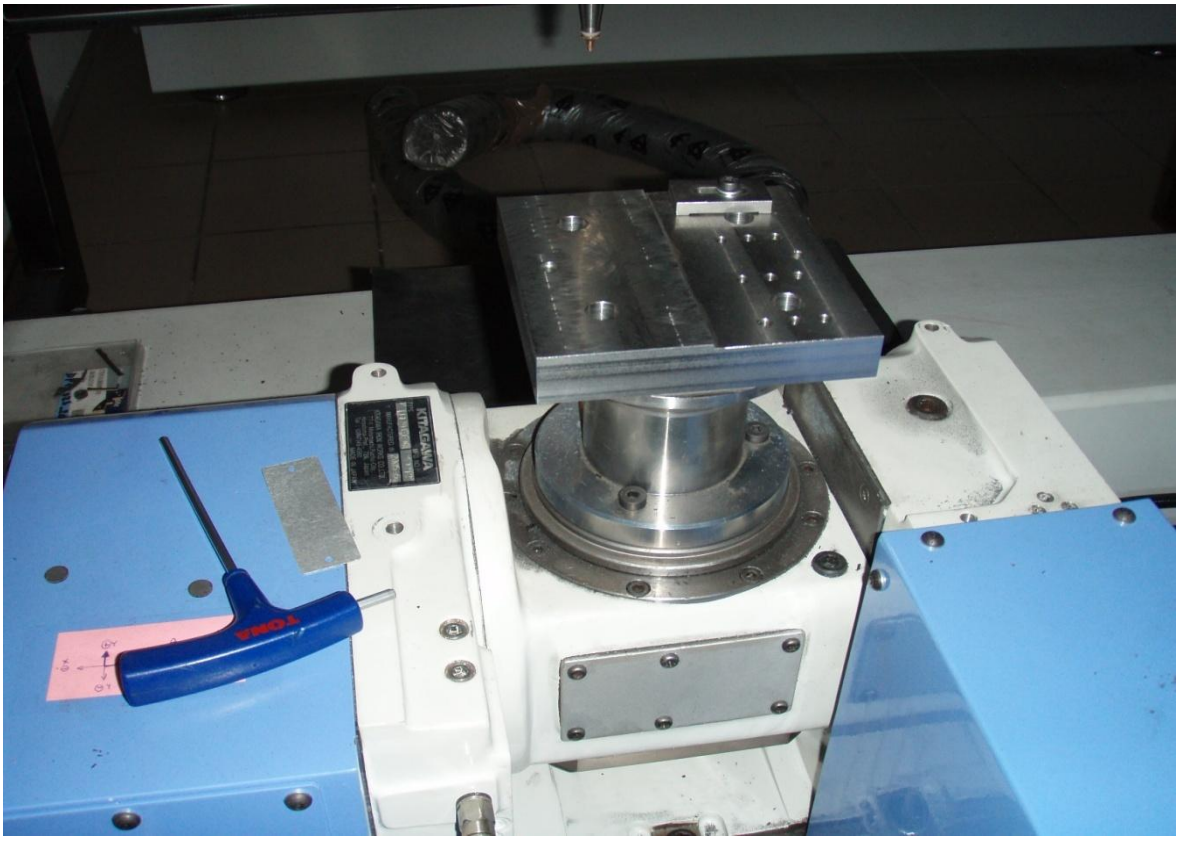
5.2 Určení polotovaru a upnutí

Podle výkresu výrobku a podle materiálu břitových destiček se určí polotovar, ze kterého se budou břitové destičky řezat. V případě, že břitové destičky jsou z HW, polotovarem bude tyč dané tloušťky a délky. Polotovarem pro řezné destičky z PKD jsou kruhové destičky o průměru Ø d=76 mm tloušťek 1,6 nebo 3,2 mm.

Kruhový polotovar tloušťky 1,6 mm s již vyřezanými břitovými destičkami je na obr. 5.3.

Obr. 5.3 Kruhový polotovar tloušťky 1,6 mm v krabičce.

Od polotovarů se odvíjí typ upínky, na které jsou polotovary upínány v pracovním prostoru laseru. Tyčový polotovar je upnutý do speciálního vedení s přítlačným držákem. Do vedení můžeme upnout tyč jakékoli délky a tloušťky. Výraznou výhodou tohoto vedení je, že polotovar je v něm spotřebovaný téměř na 100%. Ztráty jsou dány nářezovým plánem a tvary břitových destiček. Upínka pro tyčový polotovar je na obr. 5.4.



Obr 5.4 Upínka pro tyčový polotovar.

Kruhový polotovar je upnut do kruhového držáku s přítlačným distančním kroužkem, ten je přitáhnutý šroubky. Kruhový držák má tu nevýhodu, že řez nemůže být proveden až ke kraji polotovaru, protože by u kraje došlo ke střetu dýzy s distančním kroužkem. Navíc musí být pod distančním kroužkem malá ploška kvůli přítlaku polotovaru k držáku. Ploška má šířku 3 mm. Takže polotovar není nikdy spotřebován na 100%. Vždy máme ztrátu materiálu polotovaru minimálně 15,16 %. Velikost celkové ztráty poté závisí na tvaru břitové destičky a na vytvořeném nářezovém plánu. Na obr. 5.5 je kruhový polotovar upnutý do kruhového držáku.

Obr 5.5 Kruhový polotovar upnutý v upínce.

5.3 Nářezový plán

Nářezový plán je výkres polotovaru, bud tyče nebo kruhového polotovaru, zpracovaný v CAD programu. Má buď plný počáteční tvar, nebo jsou na něm zakresleny již vyřezané břitové destičky a je na něm zakreslená ploška šířky 3mm potřebná na upnutí polotovaru do držáku. Tento nářezový plán je orientační a slouží nám k efektivnímu využívání polotovarů.

Na nářezový plán je co nejúsporněji naskládán požadovaný počet břitových destiček. Mezi jednotlivými destičkami zůstává mezera minimálně 0,1 mm, což je přídavek na prořez paprsku laseru. V nářezovém plánu je zakreslen i nulový bod, kde stroj začíná svůj řezný proces. U kruhových polotovarů je nulový bod ve středu stolu, takže i polotovaru, tam je zároveň počáteční bod řezu. U tyčového polotovaru je nulový bud také ve středu stolu. Počáteční bod řezu je ale najížděn pomocí mikroskopu v rohu polotovaru.

5.4 Zpracování programu pro řezání

Nářezový plán ve formátu dwg je importován do programu EdgeCam, zde se nářezový plán otočí a ustaví do nulového bodu. Dále je navolen podle kontury v nářezovém plánu směr řezu paprsku laseru. Určíme začátek a konec řezu, místa kde se dýza má pohybovat rychloposuvem a kde se má pohybovat daným posuvem, tzn. řeznou rychlostí.

5.5 Generování NC kódu pro stroj

Po vytvoření obráběcího procesu v prostředí EdgeCam je generován NC kód dle konkrétního postprocesoru pro daný stroj.

5.6 Přenesení programu na stroj

Přenesení programu na stroj je řešeno pomocí USB disku. Po nakopírování programu do stroje je provedena kontrola programu a simulace v prostředí řídicího systému stroje.

5.7 Upnutí polotovaru, nulový bodu a bod začátku řezu

Nulový bod je předdefinován strojem. Počáteční řezný bod se stanoví dle konkrétního polotovaru.

U kruhového polotovaru je nulový bod v prostřed stolu, tj. uprostřed polotovaru. Nulový bod je zároveň počáteční bod řezu. V případě, že je polotovarem tyč, nulový bod je také ve středu stolu. Počáteční řezný bod najedeme pomocí strojních posuvů a mikroskopu s křížem v rohu polotovaru.

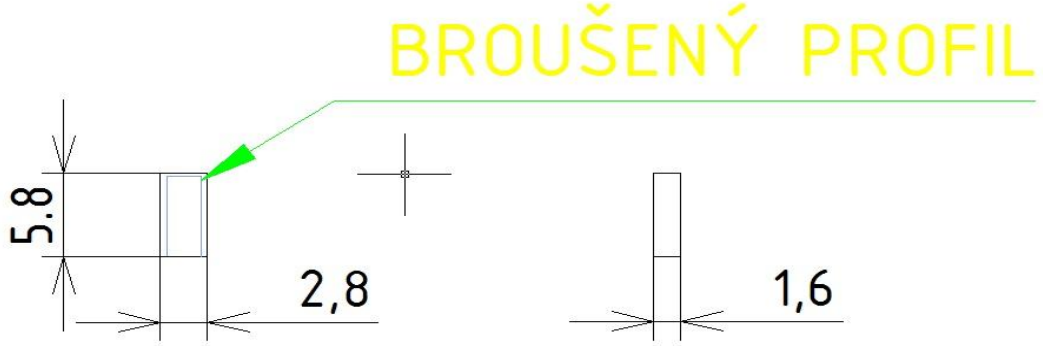
5.8 Řezaní vzorku číslo 1

Kapitola se zabývá řezáním konkrétního vzorku břitové destičky, které jsou určeny na opravu jedné stopkové frézy.

5.8.1 Výkres břitové destičky

Dle výkresu výrobku bylo zjištěno, z jakého materiálu je břitová destička a jakou má mít tloušťku. Poté byl nakreslen výkres břitové destičky, která je z PKD a má tvar kvádru o rozměrech 5,5 x 2 x 1,6 mm. Podle funkčních ploch břitové destičky byly určeny potřebné přídavky. Břitová destička je funkční z obou boků a z hřbetu. Proto jsou z boků přídavky 0,4 mm a na hřbetu dostačujících 0,3 mm. Takže nakonec vyjde tvar polotovaru o rozměrech 5,8 x 2,8 x 1,6 mm.

Výkres břitové destičky s přídavky na broušení je na obr. 5.6.

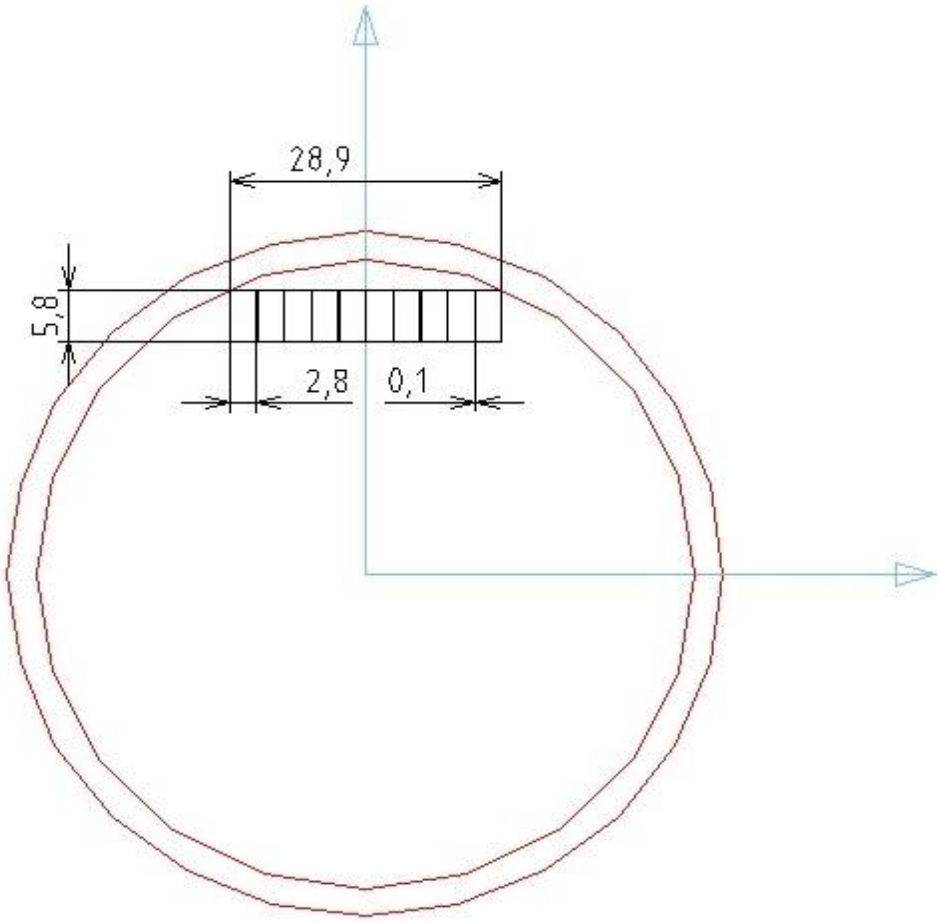


Obr. 5.6 Výkres břitové destičky s přídavky profilem určeným k broušení.

5.8.2 Upnutí a nářezový plán

Vzhledem k tomu, že materiál břitových destiček je PKD o tloušťce 1,6 mm, polotovarem bude kruhová placka tloušťky 1,6 mm. Je tím vyřešen i problém upnutí. Polotovar bude upnut v kruhovém držáku.

K dispozici je nový polotovar a jednoduchý tvar břitové destičky. Na konečný výrobek je potřeba deset destiček. Ty jsou naskládány na nářezový plán vedle sebe s mezerami 0,1 mm mezi sebou kvůli dráze laseru. Nulový bod je nastaven ve středu polotovaru. Nářezový plán s rozměry je na obr. 5.7.



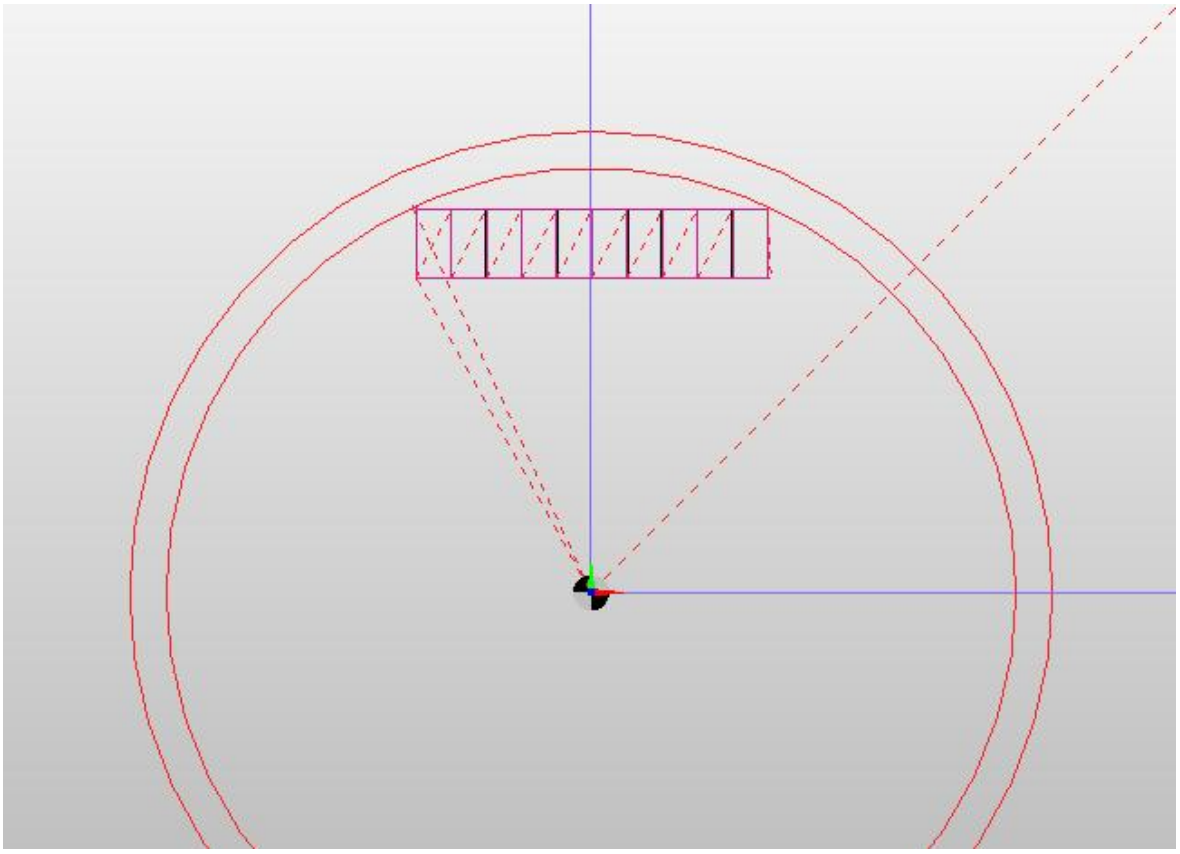
Obr. 5.7 Nářezový plán pro řezání laserem.

5.8.3 Zpracování programu pro řezání vzorku

Výkres nářezového plánu v dwg je naimportován do EdgeCamu. Tady se určí, kudy se má laser pohybovat rychloposuvem a kudy pracovním posuvem.

Ze středu polotovaru pojede řezná hlava do levého horního rohu rychloposuvem. Řezným posuvem hlava začne řez v levém horním rohu, postupně řeznou rychlostí projede po horní přímce do délky 28,9 mm k poslední destičce. Rychloposuvem se vrátí k začátku řezu. Odtud se bude řeznou rychlostí posouvat vertikálně dolů do délky 5,8 mm. Dále rychloposuvem úhlopříčně na levý horní roh další břitové destičky. Odtud opět řeznou rychlostí 5,8 mm směrem dolů a zase úhlopříčně na levý horní roh další břitové destičky.

Tak pokračuje celý proces řezu až k poslední destičce, kde po vyřezání poslední strany (strana napravo), jede řeznou rychlostí po dolní přímce a vyřeže tak spodní stranu. Odtud rychloposuvem do nulového bodu. Celý proces se poté opakuje s větším posuvem. Dráhy obrábění pro obrábění laserem jsou na obr. 5.8.



Obr. 5.8 Dráhy při obrábění laserem.

5.8.4 Generování NC kódu pro stroj a přenesení na stroj

Poté se v prostředí EdgeCam vygeneruje NC kód dle postprocesoru laseru.

5.8.5 Najetí do nulového bodu a správné výšky laserové hlavy

Nulový bod je definován strojem. Je vprostřed stolu, tj. vprostřed polotovaru. Dýza musí být od polotovaru ve výšce z=0,07 mm. Tato výška se nastaví pomocí spárové měrky. Jsou nastaveny malé posuvy a ručně se sjíždí s hlavou laseru dolů, dokud se dýza nedotkne spárové měrky. Při doteku dýzy a spárové měrky dojde ke zvukovému signálu. To je signál pro ukončení sjíždění hlavou laseru v ose z směrem dolů.

5.8.6 Kontrola programu, optimalizace řezných podmínek a spuštění programu

Kontrola programu se provede simulací programu v řídicím systému stroje.

Optimalizace řezných podmínek se neprovádí, protože dodavatel s laserem poskytl optimální řezné podmínky pro různé materiály o různých tloušťkách. Řezné podmínky se dají ovlivňovat pouze otáčením potenciometru, který ovládá řeznou rychlost.

Poté se spustí program a případně se otáčí potenciometrem, aby bylo vidět, že roztavený materiál prochází řeznou spárou.

5.8.7 Doba řezu vzorku

Hlava laseru při vyřezávání břitových destiček koná na začátku pohyb ze středu do začátku řezu, řezné posuvy, rychloposuvy a nakonec se pohybuje z konce řezu opět do středu polotovaru. Nesmí se zapomenout, že celý řez probíhá dvakrát, kvůli jednoduššímu vyklepnutí destiček z polotovaru. Bez vyklepnutí by mohlo dojít k prasknutí destiček. Při prvním řezu se nastavuje řezná rychlost 50 mm·min^{-1}, při druhém řezu 100 mm·min^{-1}. Rychlost rychloposuvu je 1000 mm·min^{-1}. Výpočet doby řezu deseti břitových destiček je uveden v tabulce Tab 5.1.

Tab. 5.1 Hodnoty při řezání laserem.

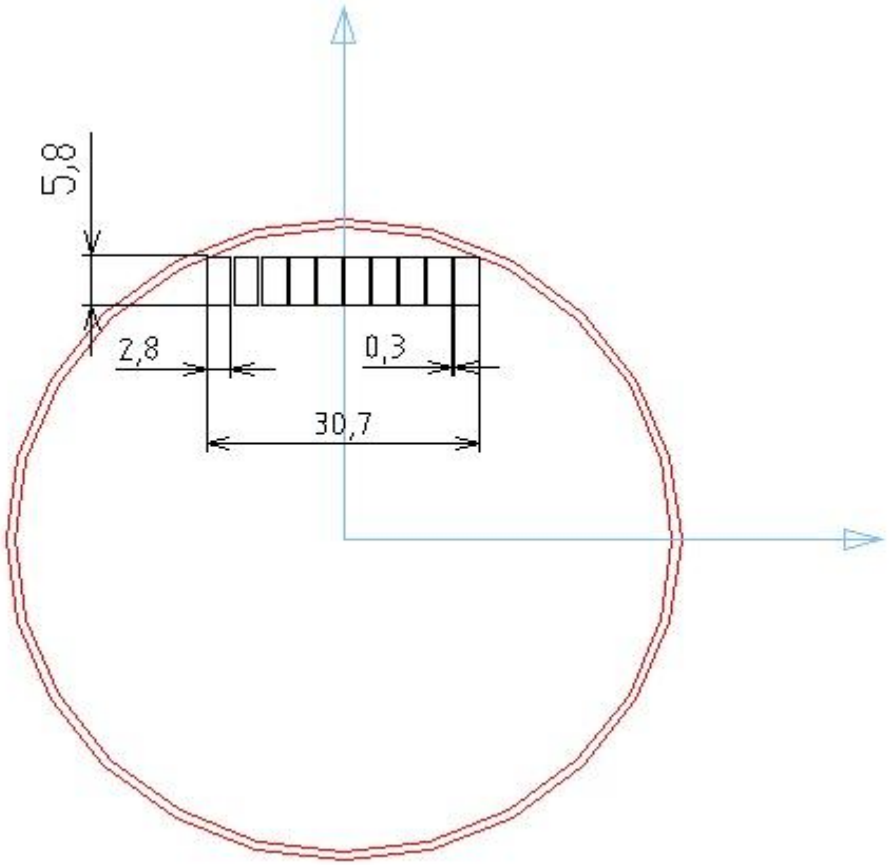
dráha řezu	120,7 mm
dráha rychloposuvu	157,1 mm
řezná rychlost prvního řezu	50 mm·min-1
řezná rychlost druhého řezu	100 mm·min-1
rychlost rychloposuvu	1000 mm·min-1
čas prvního řezu	2,414 min
čas druhého řezu	1,207 min
čas rychloposuvu	0,1562 min
celkový čas prvního řezu 10 břitových destiček	2,57 min
celkový čas druhého řezu 10 břitových destiček	1,36 min
celkový čas vyřezání 10 břitových destiček	3,94 min

5.8.8 Porovnání doby řezu vzorku s drátovou řezačkou

Při porovnávání doby řezu mezi drátovou řezačkou a laserem je třeba brát v potaz různé změny, a to:

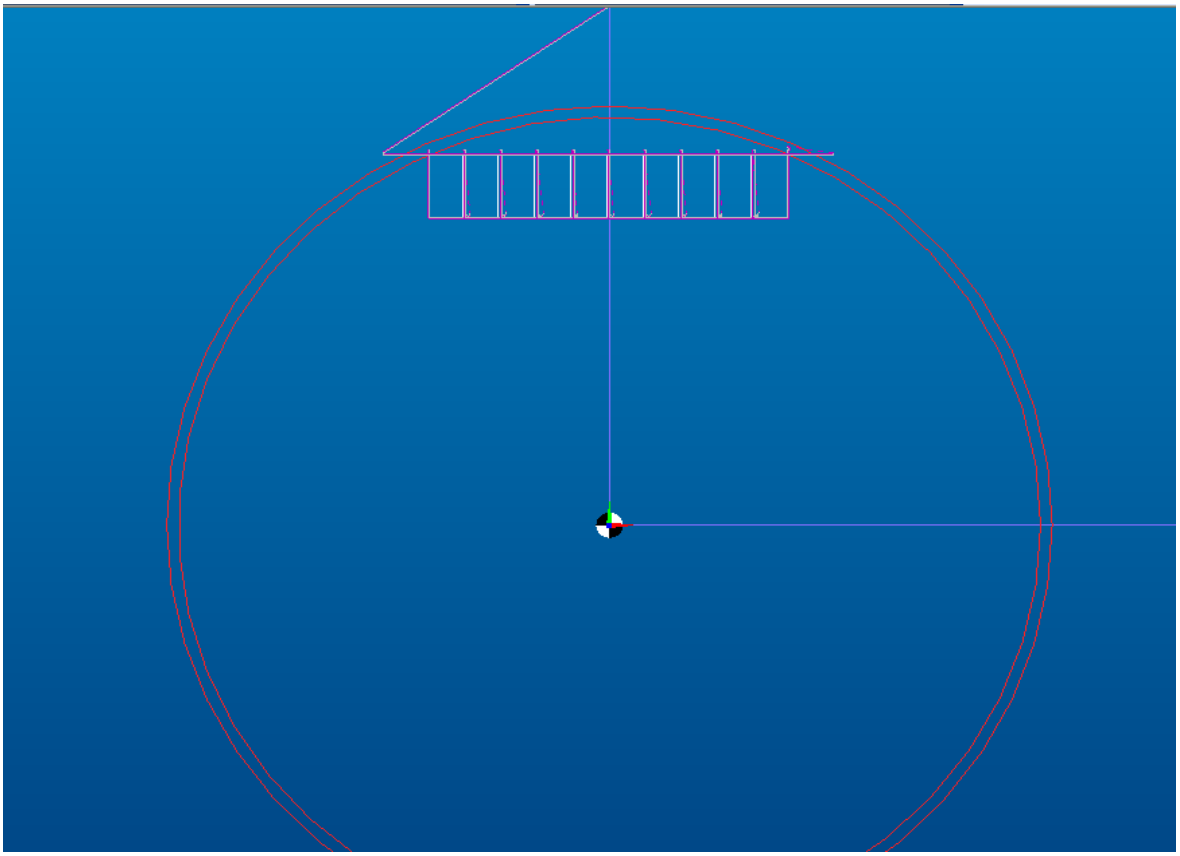
- upínací ploška zmenšená ze 3 mm na 1 mm,
- jiný nářezový plán, viz obr. 5.9 – musíme dělat mezi jednotlivými břitovými destičkami větší mezery, protože tloušťka řezného drátu je 0,25 mm, k tomu připočteme korekci, takže celková mezera mezi břitovými destičkami bude 0,3 mm,

- jiný počáteční bod řezu – proces nebude začínat jako u kruhového polotovaru ve středu ale mimo polotovar. Počáteční bod řezu pak bude na obvodu polotovaru 1mm od kraje vyřezávané břitové destičky,
- jiné dráhy řezu – nebude se začínat rychloposuvem, ale rovnou řeznou rychlostí na kraji polotovaru. Jinak jsou řezné dráhy téměř stejné jako u laseru, program v EdgeCamu pro drátové řezání je na obr. 5.10,
- celková větší dráha – díky větším mezerám bude celková dráha větší,
- výrazně nižší rychlost řezu a to do 3 $mm \cdot min^{-1}$,
- řez bude proveden jen jednou, ne dvakrát.



Obr. 5.9 Nářezový plán pro obrábění drátovou řezačkou.

Nářezový plán je importován do prostředí EdgeCAM, kde se nadefinují dráhy řezu a rychloposuvy pro obrábění.



Obr. 5.10 Dráhy pro obrábění pro drátovou řezačkou.

V následující tabulce, viz Tab. 5.2 jsou hodnoty při řezání vzorku metodou řezání drátem.

Tab. 5.2 Hodnoty při řezání drátovou řezačkou.

Dráha řezu	120,8 mm
Dráha rychloposuvu	82,9 mm
Řezná rychlost	3 mm·min^{-1}
Rychlost rychloposuvu	300 mm·min^{-1}
Čas řezu	40,27 min
Čas rychloposuvu	0,28 min
Celkový čas řezu 10 břitových destiček	40,55 min

Z daných výpočtů časů vidíme, že doba vyřezání deseti břitových destiček z kruhového polotovaru je při řezání laserovou metodou výrazně nižší, než při vyřezávání drátovou řezačkou. Celkový čas je u řezání laserem zhruba čtvrtinový podle řezání drátem.

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Ve firmě Vydona s.r.o. se pracuje v jednosměnném provozu. Pro porovnání metod drátového řezání a laserového řezání se bude srovnávat hodinová sazba laseru LASAG FLS 352N – 302 a drátové řezačky FANUC ROBOCUT α-1iD. Odpisová doba u obou strojů bude 8 let. Ceny jsou uváděny bez DPH.

6.1 Výpočet hodinové sazby pro jednosměnný provoz laseru

V kapitole jsou rozebrány jednotlivé náklady spojené s technologií laserového řezání, které spolu s 50% ziskovou přirážkou budou tvořit hodinovou sazbu stroje LASAG FLS 352N - 302.

6.1.1 Náklady na pořízení a zprovoznění stroje NC_I

- Pořizovací cena stroje — P_{C1} = 9000000 Kč
- Doprava a instalace stroje — P_{C2} = 12500 Kč
- Stěhování a zprovoznění stroje — P_{C3} = 4000 Kč
- Zaškolení pracovníků — P_{C4} = 2000 Kč
- Cena za kompresor s příslušenstvím — P_{C5} = 85855 Kč
- Cena za instalační práce kompresoru a příslušenství — P_{C6} = 6420 Kč
- Tlaková nádoba kompresoru — P_{C7} = 11800 Kč
- Chladící zařízení — součást pořizovací ceny stroje
- Odsávání — součást pořizovací ceny stroje
- Cena za filtrační zařízení s příslušenstvím — P_{C8} = 46560 Kč
- Cena za instalační práce filtrační zařízení a příslušenství — P_{C9} = 4820 Kč
- Směnnost — s = 1
- Počet pracovních dnů za rok — n_{d1} = 253 dní
- Počet pracovních hodin za rok — n_{h1} = 2024 hodin
- Odpisová doba — O_d = 8 let
- Náklady na technickou přípravu a organizaci výroby včetně zisku — N_Z = 50%

$$N_{CI} = \frac{\sum_{i=1}^{n=9} P_{CI}}{O_d \cdot n_{h1}} = \frac{P_{C1}+P_{C2}+P_{C3}+P_{C4}+P_{C5}+P_{C6}+P_{C7}+P_{C8}+P_{C9}}{O_d \cdot n_{h1}} \tag{6.1}$$

$$N_{CI} = 566{,}57\ Kč \cdot hod^{-1}$$

6.1.2 Náklady na doplňkové vybavení stroje ND_I

- Duralové přípravky a šrouby — P_{D1} = 1500 Kč
- Sada nářadí pro obsluhu — P_{D2} = 1200 Kč
- Postprocesor pro stroj — P_{D3} = 8000 Kč
- Bezpečnostní brýle — součást pořizovací ceny stroje
- Ochranné sklo a dýza — P_{D4} = 3500 Kč
- Lampa laseru — P_{D5} = 10000 Kč
- Smirkový papír — P_{D6} = 100 Kč·rok^{-1}

$$N_{DI} = \frac{\sum_{i=1}^{n=5} P_{DI}}{O_d \cdot n_{h1}} + \frac{P_{D6}}{n_{h1}} = \frac{P_{D1}+P_{D2}+P_{D3}+P_{D4}+P_{D5}}{O_d \cdot n_{h1}} + \frac{P_{D6}}{n_{h1}} \tag{6.2}$$

$$N_{DI} = 1{,}54\ Kč \cdot hod^{-1}$$

6.1.3 Náklady na provoz stroje N_{PI}

- Celkový příkon zařízení — P_{P1} = 14 kWh
- Spotřeba stlačeného vzduchu — P_{P2} = 10 m^3 · hod^{-1}
- Osvětlení stroje zářivkami — P_{P3} = 0,16 kWh
- Teplo pro vytápění — P_{P4} = 3500 Kč·rok^{-1}
- Spotřeba destilované vody — P_{P5} = 80 l·rok^{-1}
- Výměna filtrů filtračního zařízení — P_{P6} = 6910 Kč·rok^{-1}
- Cena elektřiny — C_e = 4,80 Kč ·kWh^{-1}
- Cena stlačeného vzduchu — C_{VZ} = 4 Kč ·m^3
- Cena destilované vody — C_V = 5 Kč·l^{-1}

$$N_{PI} = P_{P1} \cdot C_e + P_{P2} \cdot C_{VZ} + P_{P3} \cdot C_e + \frac{P_{P4}}{n_{h1}} + \frac{P_{P5} \cdot C_V}{n_{h1}} + \frac{P_{P6}}{n_{h1}} \tag{6.3}$$

$$N_{PI} = 73{,}33\ Kč \cdot hod^{-1}$$

6.1.4 Náklady na obsluhu stroje N_{OI}

- Super hrubá mzda pracovníka — $P_{O1} = 243600$ Kč · rok^{-1}
- Ošacení pracovníka — $P_{O2} = 500$ Kč · rok^{-1}
- Pracovní obuv — $P_{O3} = 600$ Kč · rok^{-1}

$$N_{OI} = \frac{s \cdot (P_{O1} + P_{O2} + P_{O3})}{n_{h1}} \quad (6.4)$$

$$N_{OI} = 120{,}9\ Kč \cdot hod^{-1}$$

6.1.5 Celkové náklady na provoz stroje Ncelk

$$N_{celk} = N_{CI} + N_{DI} + N_{PI} + N_{OI} \quad (6.5)$$

$$N_{celk} = 566{,}57 + 1{,}59 + 73{,}33 + 120{,}9$$

$$N_{celk} = 762{,}5\ Kč \cdot hod^{-1}$$

6.1.6 Výsledná hodinová sazba včetně zisku HSI

$$H_{SI} = \frac{1}{1 - \frac{N_Z}{100}} \cdot N_{celk} \quad (6.6)$$

$$H_{SI} = 1525\ Kč \cdot hod^{-1}$$

6.2 Výpočet hodinové sazby pro jednosměnný provoz drátovky

V kapitole jsou rozebrány jednotlivé náklady spojené s technologií drátového řezání, které spolu s 50% ziskovou přirážkou budou tvořit hodinovou sazbu stroje FANUC ROBOCUT α-1iD.

6.2.1 Náklady na pořízení a zprovoznění stroje NC_{II}

- Pořizovací cena stroje — P_{CI1} = 5196580 Kč
- Doprava a instalace stroje — P_{CI2} = 20000 Kč
- Stěhování a zprovoznění stroje — P_{CI3} = 4000 Kč
- Servisní zásah — P_{CI4} =18890 Kč
- Čistící prostředek při montáži — P_{CI5} = 2000 Kč
- Zaškolení pracovníků — P_{CI6} = 11000 Kč
- Filtrační jednotka pro HW — P_{CI7} = 30000 Kč
- Směnnost — s = 1
- Počet pracovních dnů za rok — n_{d1} = 253 dní
- Počet pracovních hodin za rok — n_{h1} = 2024 hodin
- Odpisová doba — O_d = 8 let
- Náklady na technickou přípravu a organizaci výroby včetně zisku — N_Z = 50%

$$N_{CII} = \frac{\sum_{i=1}^{n=7} P_{CI}}{O_d \cdot n_{h1}} = \frac{P_{C1}+P_{C2}+P_{C3}+P_{C4}+P_{C5}+P_{C6}+P_{C7}}{O_d \cdot n_{h1}} \quad (6.7)$$

$$N_{CII} = 326{,}24\ Kč \cdot hod^{-1}$$

6.2.2 Náklady na doplňkové vybavení stroje N_{DII}

- Nerezové přípravky a šrouby — P_{DI1} = 20000 Kč
- Sada nářadí pro obsluhu — P_{DI2} = 1500 Kč
- EdgeCAM software pro drátové řezání — P_{DI3} = 53320 Kč
- Postprocesor pro stroj — P_{DI4} = 18000 Kč
- Stěrka na vodu — P_{DI5}= 100 Kč · rok^{-1}
- Textilie k čištění — P_{DI6}=150 Kč · rok^{-1}

$$N_{DII} = \frac{\sum_{i=1}^{n=4} P_{DI}}{O_d \cdot n_{h1}} + \frac{\sum_{i=5}^{n=6} P_{DI}}{n_{h1}} = \frac{P_{D1}+P_{D2}+P_{D3}+P_{D4}}{O_d \cdot n_{h1}} + \frac{P_{D5}+P_{D6}}{n_{h1}} \quad (6.8)$$

$$N_{DII} = 6{,}69\ Kč \cdot hod^{-1}$$

6.2.3 Náklady na provoz stroje N_{PII}

- Příkon stroje — P_{PI1} = 13,5 kWH
- Spotřeba stlačeného vzduchu — P_{PI2} = 2,5 $m^3 \cdot hod^{-1}$
- Osvětlení stroje zářivkami — P_{PI3} = 0,18 kWH
- Teplo pro vytápění — P_{PI4} = 3000 Kč · rok^{-1}
- Spotřeba destilované vody — P_{PI5} = 500 l · rok^{-1}
- Výměna filtru — P_{PI6} = 910 Kč · rok^{-1}
- Spotřeba drátu — P_{PI7} = 0,2 kg · hod^{-1}
- Cena elektřiny — C_e = 4,8 Kč · kWh^{-1}
- Cena stlačeného vzduchu — C_{VZ} = 4 Kč · m^{-3}
- Cena destilované vody — C_V = 5 Kč · l^{-1}
- Cena nákupu mosazného drátu — C_D = 280 Kč · kg^{-1}
- Cena výkupu zbytku mosazného drátu — C_P = 30 Kč · kg^{-1}

$$N_{PII} = P_{P1} \cdot C_e + P_{P2} \cdot C_{VZ} + P_{P3} \cdot C_e + P_{P7} \cdot C_d + \frac{P_{P4}}{n_{h1}} + \frac{(P_{P5} \cdot C_V)}{n_{h1}} + \frac{P_{P6}}{n_{h1}} - P_{P7} \cdot C_P \quad (6.9)$$

$$N_{PII} = 128{,}8\ Kč \cdot hod^{-1}$$

6.2.4 Náklady na obsluhu stroje N_{OII}

- Super hrubá mzda pracovníka $P_{O1} = 243600\ Kč \cdot rok^{-1}$
- Ošacení pracovníka $P_{O2} = 500\ Kč \cdot rok^{-1}$
- Pracovní obuv $P_{O3} = 600\ Kč \cdot rok^{-1}$

$$N_{OII} = \frac{s \cdot (P_{O1} + P_{O2} + P_{O3})}{n_{h1}} \quad (6.10)$$

$$N_{OII} = 120{,}9\ Kč \cdot \mathrm{hod}^{-1}$$

6.2.5 Celkové náklady na provoz stroje N_{celkII}

$$N_{celk} = N_{CII} + N_{DII} + N_{PII} + N_{OII} \quad (6.11)$$

$$N_{celk} = 326{,}24 + 6{,}69 + 128{,}8 + 120{,}9$$

$$N_{\mathrm{celk}} = 582{,}63\ Kč \cdot \mathrm{hod}^{-1}$$

6.2.6 Výsledná hodinová sazba včetně zisku H_{SII}

$$H_{SI} = \frac{1}{1 - \frac{N_Z}{100}} \cdot N_{celk} \quad (6.12)$$

$$H_{SI} = 1165{,}26\ Kč \cdot \mathrm{hod}^{-1}$$

6.3 Cena vyřezání 10 Ks břitových destiček

V kapitole 5.8 se řešilo vyřezání 10 ks břitových destiček. Destičky byly určeny na opravu jedné stopkové frézy s deseti řeznými zuby. Kapitola 6.3 řeší vyřezání 100 ks břitových destiček, které jsou potřeba pro splnění zakázky 10 stopkových fréz.

V první části je spočítána cena vyřezání 100 ks břitových destiček laserem, ve druhé části vyřezání břitových destiček na drátové řezačce.

6.3.1 Cena při řezání laserem

Celková zakázka je dána na 10 ks stopkových fréz. Každá stopková fréza má 10 řezných zubů. V tabulce Tab. 6.1 jsou uvedeny hodnoty celkového času řezání 100 ks břitových destiček a cena za jejich vyřezávání.

Tab. 6.1 Cena při vyřezání 100ks břitových destiček laserem.

čas potřebný pro vyřezání 10 ks [min]	3,94
čas potřebný pro vyřezání 100 ks [min]	39,35
hodinová sazba laseru včetně zisku [Kč·hod^{-1}]	1525
ceny při vyřezání 10 ks [Kč]	100,02
ceny při vyřezání 100 ks [Kč]	1000,12

6.3.2 Cena při řezání drátovou řezačkou

Pro porovnání s cenou vyřezání laserem jsou v Tab. 6.2 uvedeny hodnoty vyřezávání na drátové řezačce.

Tab. 6.2 Cena při vyřezání 100ks břitových drátovou řezačkou.

čas potřebný pro vyřezání 10 ks [min]	40,55
čas potřebný pro vyřezání 100 ks [min]	405,5
hodinová sazba drátové řezačky včetně zisku [Kč·hod^{-1}]	1165
ceny při vyřezání 10 ks [Kč]	787,35
ceny při vyřezání 100 ks [Kč]	78734,58

6.3.3 Porovnání časů a cen jednotlivých metod

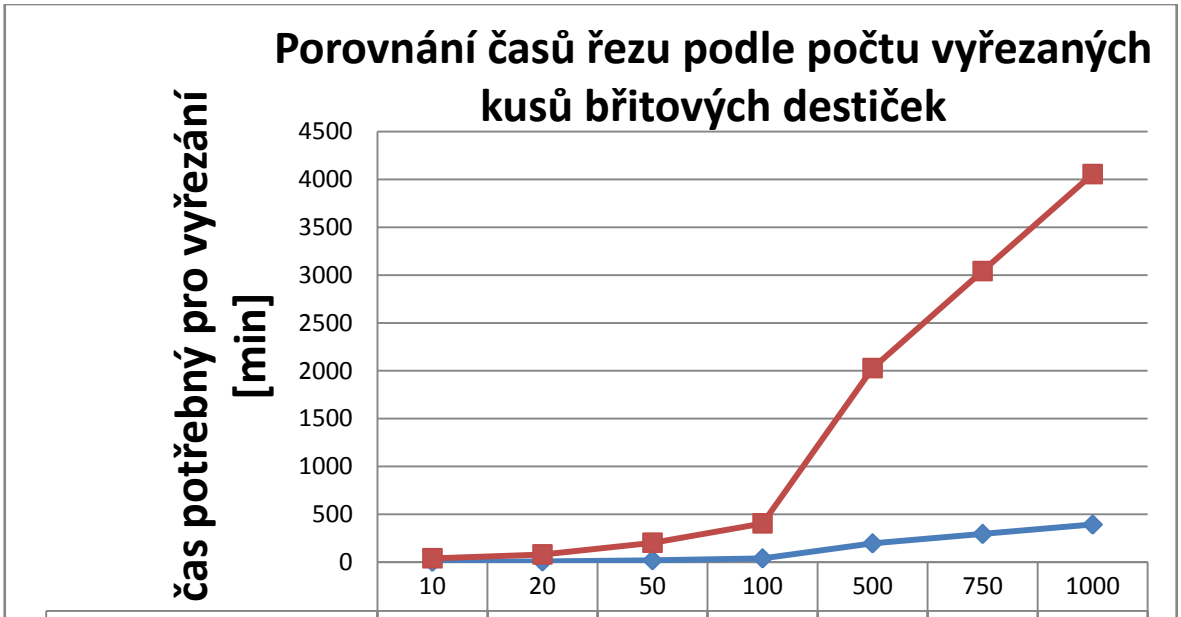
V následující tabulce Tab. 6.3 máme uvedeny časy řezu a ceny řezu obou dvou metod, jejich časové a cenové zatížení při opakované zakázce až 1000 ks řezných destiček.

Tab. 6.3 Porovnání časového a cenového zatížení obou metod

počet vyřezaných ks	laserové řezání		řezání drátem	
	čas řezu [min]	cena řezu [Kč]	čas řezu [min]	cena řezu [Kč]
10	3,94	100,02	40,55	787,35
20	7,87	200,04	81,1	1574,69
50	19,68	500,1	202,75	3936,73
100	39,35	1000,2	405,5	7873,46
500	196,76	5001	2027,5	39367,29
750	295,14	7501,5	3041,25	59050,94
1000	393,52	10001,97	4055	78734,58

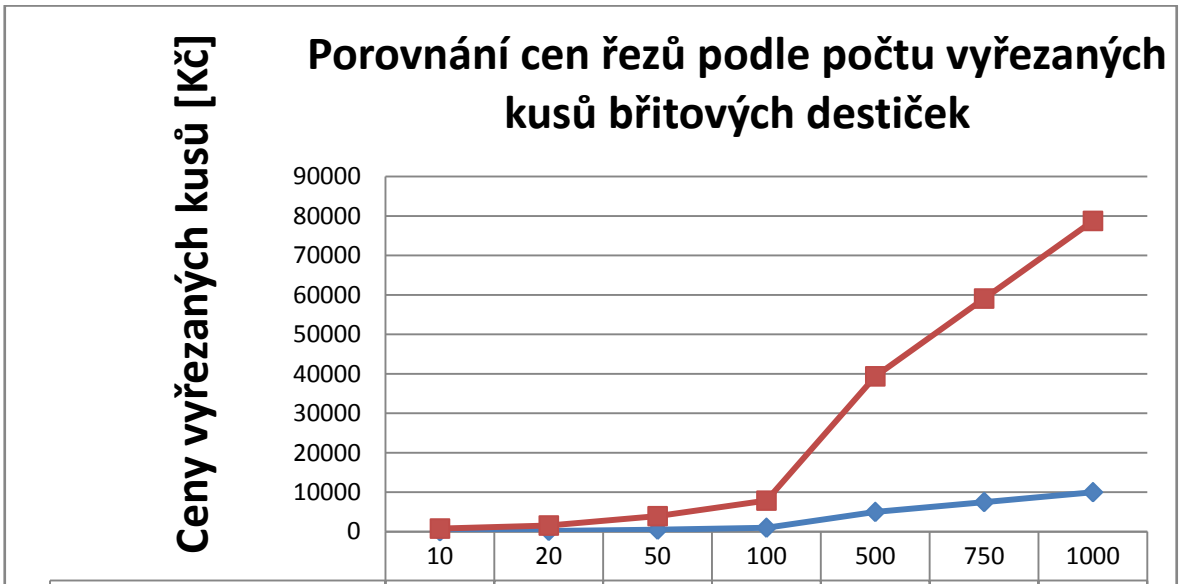
V obr. 6.1 je grafické znázornění časového zatížení vyřezání od 10 ks břitových destiček, které jsou použity na opravu jedné stopkové frézy až po 1000 ks břitových destiček, které budou použity na opakované zakázky po deseti stopkových frézách.

Obr. 6.2 zobrazuje cenové zatížení vyřezávání stejného počtu břitových destiček.



	10	20	50	100	500	750	1000
časy při řezání laserem	3,94	7,87	19,68	39,35	196,76	295,14	393,52
časy při řezání drátovou řezačkou	40,55	81,10	202,75	405,50	2027,50	3041,25	4055,00

Obr. 6.1 Časové zatížení obou metod podle počtu vyřezaných kusů destiček



	10	20	50	100	500	750	1000
ceny při řezání laserem	100,02	200,04	500,10	1000,20	5000,98	7501,48	10001,97
ceny při řezání drátovou řezačkou	787,35	1574,69	3936,73	7873,46	39367,29	59050,94	78734,58

Obr. 6.2 Cenové zatížení obou metod podle počtu vyřezaných kusů destiček

6.4 Hodnocení

Stroje jsou používány v jednosměnném provozu, z důvodu absence personálu pro obsluhu pro směnu druhou. V takto nastavených podmínkách vyšla hodinová sazba řezání laserem 1525 Kč·hod^{-1} a sazba drátového řezání 1165 Kč·hod^{-1} . největší vliv na tuto sazbu má pořizovací cena strojů. Oba dva stroje jsou nové a moderní, takže jejich pořizovací cena je poměrně vysoká.

Protože je rychlost řezu laserem mnohonásobně vyšší než rychlost řezu drátovou řezačkou, cena vyřezání 10 ks vzorků je pak asi 8x nižší u laseru než u drátové řezačky.

Díky údajům z obr. 6.1 a obr. 6.2 je patrné, že metodou řezání laserem dosahujeme mnohem nižších časů řezu za nižší ceny. Z toho vyplývá, že investice do laserového zařízení plní očekávání a měla by být pro firmu přínosem.

DISKUSE

Protože se firma rozhodla pořídit si laser schopný řezat hlavně polotovary břitových destiček z PKD bylo nutné nejprve zvolit odpovídající laser. Tvrdé materiály jako CBN, PKD a SK materiály mají špatnou tepelnou vodivost a špatně absorbují laserové záření. Proto se při obrábění hodně zahřívají a mohlo by dojít k praskání materiálu. Plynové CO2 lasery pracující v kontinuálním režimu s vysokými výkony a velkou vlnovou délkou, jsou proto nepoužitelné. Vědělo se, že je třeba použít pulzní pevnolátkový laser s nižšími výkony v pulzu. Bylo vypsáno výběrové řízení. Na výběrové řízení reagovala firma Seiffert&Schmeringa Lasersystems s.r.o. s nabídkou odpovídajícího laseru.

Po volbě laseru bylo nutné rozhodnout se, který řezný plyn se bude používat. Na výběr bylo ze dvou variant a to stlačený vzduch nebo stlačený dusík. Každá z variant má své klady a zápory. Nakonec byla zvolena varianta stlačeného vzduchu. Výhodami vzduchu je v podstatě nulová cena, ale hlavně neustálá dostupnost. Nevýhodou vzduchu je více tepelně ovlivněná zóna než při použití dusíku. Protože v podmínkách firmy se jedná o hrubování břitových destiček s potřebnými přídavky na hrubování, více tepelně ovlivněná vrstva zase tolik nevadí. Vrstva bude odstraněna při dokončovacím broušení. Další nevýhodou volby vzduchu je nutnost pořízení výkonnějšího kompresoru a filtračního zařízení stlačeného vzduchu pro odstranění nečistot. Nakonec bylo zhodnoceno, že ani tahle investice nebude brána jako negativní, protože firma vlastní zastaralý typ kompresoru a nový kompresor bude používán v každodenním provozu. Filtrační zařízení vzduchu pak bylo nutností. Pro volbu dusíku bylo jediné plus a to tepelně ovlivněná vrstva. Převažovali negativa jako velká spotřeba dusíku, vysoká cena dusíku a nutnost pro lahve s dusíkem dojíždět. Takže by dusík nemusel být k dispozici neustále. Investice do generátoru dusíku byla zavržena.

Pro laserové zařízení a jeho části byla přestavěna místnost, postavená vedle stávající dílny. Do nové dílny bylo nutné laser přemístit z nákladního automobilu, takže byly postaveny 3 m široká vstupní vrata. Od kompresoru byly nataženy hadice nejkratší cestou k levé zdi. Filtrační zařízení bylo taktéž připevněno na levou zeď. Dílna byla poskládána podle návrhu dodavatele. Jenže bylo zjištěno, že rozestavení není ideální, proto byl nakreslen nový plán, který měl být opraven tak aby obsluha laseru měla ulehčenou manipulaci se zařízením. Po novém rozložení dílny a pár dnech provozu bylo potřeba najít další rozložení, kvůli špatnému umístění odsávání. Proto byl nakreslen Návrh řešení 2 na obr. 4.12, kde je odsávání hned u pracovního stolu. Ale až další přeskládání dílny a několik dní provozu ukáže, jestli je to řešení lepší. Problémem je také hlučnost chlazení a průvan vycházející z něj. Proto firma dále počítá s dalším rozšířením dílny. Plánuje se dostavení boční místnosti pro chlazení, které tam bude samostatně. Tím by měly odpadnout problémy s chlazením.

Při samotném řezání břitových destiček není mnoho oblastí pro zlepšení. První zlepšení je vytvoření vlastních upínacích prvků pro polotovary. Jinak jsou možnosti zlepšení dosti omezené. Pro zlepšení celkového procesu obrábění je potřeba zlepšování schopností a zkušeností technologa výroby. Ten ovlivní poskládání břitových destiček na nářezovém plánu. Tak může předejít zbytečným ztrátám způsobených špatným rozložením břitových destiček.

Hodinové sazby strojů vyšly rozdílně o zhruba 300 Kč. Hodinová sazba laseru byla 1525 Kč, sazba drátové řezačky byla 1165 Kč. Při řezání PKD břitových destiček však díky mnohem vyšší rychlosti řezu laseru a to 50 $mm \cdot min^{-1}$ vyjde celková cena za vyřezání

vzorových destiček téměř 8x menší než drátovou řezačkou. Větší rychlost laseru by měla vést ke snížení časového vytížení pracovníků, kteří se pak mohou věnovat jiným činnostem. Při opakované výrobě 100 ks stopkových fréz na jaké se používají destičky jako ve vzorku by mělo dojít více než k desetinásobnému snížení časového vytížení stroje. Takže laserová technologie by měla ve firmě naplnit očekávání do ní vkládaná.

Laser se využívá výhradně pro řezání supertvrdých materiálů. Díky své schopnosti rychle vyřezat břitové destičky není stroj vytížen celých 8 pracovních hodin denně. Na laseru je možné řezat i Al materiály. Také díky velkému pracovnímu stolu je možné řezat polotovary z velkých plechových plátů. A protože laser není využitý celých 8 hodin denně, měla by firma Vydona zaměřit pozornost i na oblast obrábění Al a velkých plechů. Tyto možnosti by nemusela využít ve své vlastní výrobě, ale v kooperaci s jinými firmami, které nemají možnost řezaní laserem. Tím by byl laser více vytížen, plynuly by z něho další příjmy a zkrátila by se doba návratnosti investice do laserového zařízení.

ZÁVĚR

Po vhodném výběru laserového zařízení byl zvolen řezný plyn vedený do místa řezu. Řezným plynem je stlačený vzduch dodávaný novým kompresorem, filtrovaný přes nové filtrační zařízení. Kompresor je používán nejen pro laserové zařízení, ale v podmínkách výroby celé firmy.

Všechny komponenty byly rozloženy po dílně. Některé vhodně, některé nevhodně. Po úpravách původního návrhu dílny se zkusilo nové rozložení, které taky není ideální, a proto je třeba dalšího přemisťování a vyzkoušení dalšího konceptu návrhu. V budoucnu po dostavění místnosti pro chlazení a přestěhování ho tam bude možné vyzkoušet i posledního variantu návrhu. Poslední návrh dílny do budoucna by se měl blížit ideálu.

Při řezání vzorku vyšly očekávané výsledky. A to, že řezání 10 ks PKD břitů laserem bude mnohem rychlejší než při řezání drátovou řezačkou. Asi osminásobný rozdíl odpovídá předpokladům a odhadům.

Při výpočtu hodinových sazeb strojů hlavně díky vyšší pořizovací ceně vyšla vyšší hodinová sazba u laseru, asi 1525 Kč, u drátové řezačky 1165 Kč. Díky vyšším rychlostem řezu ale budou celkové náklady na vyřezané kusy vždy nižší u laseru než u drátové řezačky.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progresívne technológie*. 1. vyd. Košice: Vienala, 2000, 275 s. ISBN 80-709-9430-4.
2. ŘASA, CSC, Ing. Jaroslav a Ing. Zuzana KEREČANINOVÁ, PH.D. Nekonvenční metody obrábění – 4. díl. In: *Http://www.mmspektrum.com* [online]. 19.03.2008. 2008 [cit. 2012-01-20]. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-4-dil.html
3. BARTOŠÍKOVÁ, Jarmila, Jitka ZEZULOVÁ, Miroslav OLŠINA a Jana PAŠTIKOVÁ. *Historie a současnost podnikání na Kroměřížsku a Holešovsku*. 1. vyd. Žehušice: Městské knihy, 2010, 303 s. Historie a současnost podnikání v regionech ČR. ISBN 978-80-86699-59-2.
4. SEDLÁČEK, Jiří. *Drátové elektroerozivní obrábění při výrobě nástrojů na dřevo*. Brno, 2008. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Karel Osička.
5. VYDONA S.R.O. *Katalog produktů*: *vydání 2011*. [s.l.]: Vydona.s.r.o., ©2011. Dostupné také z: http://vydona.cz/pdf/vydona_katalog_2011.pdf
6. VYDONA S.R.O. *Interní firemní materiály Vydona s.r.o.* [s.l.]: VYDONA s.r.o. Pravčice, 2012. ©2012.
7. SEIFFERT&SCHMERINGA LASERSYSTEMS S.R.O. *Firemní podklady Seiffert&Schmeringa Lasersystems s.r.o. Kostolné* 2012. [s.l.]: Seiffert&Schmeringa Lasersystems s.r.o., ©2012.
8. Fiber Laser Technology Reels in High Power Results. In: *Http://spie.org* [online]. 31.1.2004. 2004 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: http://spie.org/x17329.xml?ArticleID=x17329
9. JANUŠKA KOMPRESORY S.R.O. *Nabídka na pístový kompresor a filtraci stlačeného vzduchu*. Fryšták 2012 [s.l.]: Januška kompresory s.r.o., ©2012.

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Popis
A	[%]	absorpce světelného záření
f	[mm]	ohnisková vzdálenost čočky
$\mathbf{f_{opt}}$	[mm]	optimální ohnisková vzdálenost čočky
Cd	[Kč]	Cena nákupu mosazného drátu
$\mathbf{C_e}$	[Kč]	Cena elektřiny
$\mathbf{C_p}$	[Kč]	Cena výkupu zbytku mosazného drátu
$\mathbf{C_{vz}}$	[Kč]	Cena stlačeného vzduchu
$\mathbf{C_v}$	[Kč]	Cena destilované vody
d	[mm]	délka
DPH	[%]	daň přidané hodnoty
$\mathbf{H_{SI}}$	[Kč · hod^{-1}]	Výsledná hodinová sazba včetně zisku
$\mathbf{H_{SII}}$	[Kč · hod^{-1}]	Výsledná hodinová sazba včetně zisku
$\mathbf{N_{DI}}$	[Kč · hod^{-1}]	Náklady na doplňkové vybavení stroje
$\mathbf{N_{DII}}$	[Kč · hod^{-1}]	Náklady na doplňkové vybavení stroje
nd1	[dní]	počet pracovních dnu v roce
$\mathbf{N_{CI}}$	[Kč · hod^{-1}]	Náklady na pořízení a zprovoznění stroje laseru
$\mathbf{N_{CII}}$	[Kč · hod^{-1}]	Náklady na pořízení a zprovoznění drátové řezačky
$\mathbf{N_{celkI}}$	[Kč · hod^{-1}]	Celkové náklady na provoz stroje
$\mathbf{N_{celkII}}$	[Kč · hod^{-1}]	Celkové náklady na provoz stroje
nh1	[hodiny]	počet pracovních hodin v roce
No	[Kč · hod^{-1}]	Náklady na obsluhu stroje
$\mathbf{N_{OII}}$	[Kč · hod^{-1}]	Náklady na obsluhu stroje
$\mathbf{N_{PI}}$	[Kč · hod^{-1}]	Náklady na provoz stroje
$\mathbf{N_{PII}}$	[Kč · hod^{-1}]	Náklady na provoz stroje
$\mathbf{N_Z}$	[Kč · hod^{-1}]	Náklady na technickou přípravu a organizaci výroby včetně zisku
Od	[roky]	odpisová doba
$\mathbf{P_{C1}}$	[Kč]	Pořizovací cena stroje
$\mathbf{P_{CI1}}$	[Kč]	Pořizovací cena stroje

P_{C2}	[Kč]	Doprava a instalace stroje
P_{CI2}	[Kč]	Doprava a instalace stroje
P_{C3}	[Kč]	Stěhování a zprovoznění stroje
P_{CI3}	[Kč]	Stěhování a zprovoznění stroje
P_{C4}	[Kč]	Zaškolení pracovníků
P_{CI4}	[Kč]	Zaškolení pracovníků
P_{C5}	[Kč]	Cena za kompresor s příslušenstvím
P_{CI5}	[Kč]	Čisticí prostředek při montáži
P_{C6}	[Kč]	Cena za instalační práce kompresoru a příslušenství
P_{CI6}	[Kč]	Zaškolení pracovníků
P_{C7}	[Kč]	Tlaková nádoba kompresoru
P_{CI7}	[Kč]	Filtrační jednotka pro HW
P_{C8}	[Kč]	Cena za filtrační zařízení s příslušenstvím
P_{C9}	[Kč]	Cena za instalační práce filtrační zařízení a příslušenství
P_{D1}	[Kč]	Duralové přípravky a šrouby
P_{DI1}	[Kč]	Nerezové přípravky a šrouby
P_{D2}	[Kč]	Sada nářadí pro obsluhu
P_{DI2}	[Kč]	Sada nářadí pro obsluhu
P_{D3}	[Kč]	Postprocesor pro stroj
P_{DI3}	[Kč]	EdgeCAM software pro drátové řezání
P_{D4}	[Kč]	Ochranné sklo a dýza
P_{DI4}	[Kč]	Postprocesor pro stroj
P_{D5}	[Kč]	Lampa laseru
P_{DI5}	[Kč]	Stěrka na vodu 2ks
P_{D6}	[Kč·rok^{-1}]	Smirkový papír
P_{DI6}	[Kč]	Textilie k čištění
P_{O1}	[Kč·rok^{-1}]	Super hrubá mzda pracovníka
P_{OI1}	[Kč·rok^{-1}]	Super hrubá mzda pracovníka
P_{O2}	[Kč·rok^{-1}]	Ošacení pracovníka
P_{OI2}	[Kč·rok^{-1}]	Ošacení pracovníka

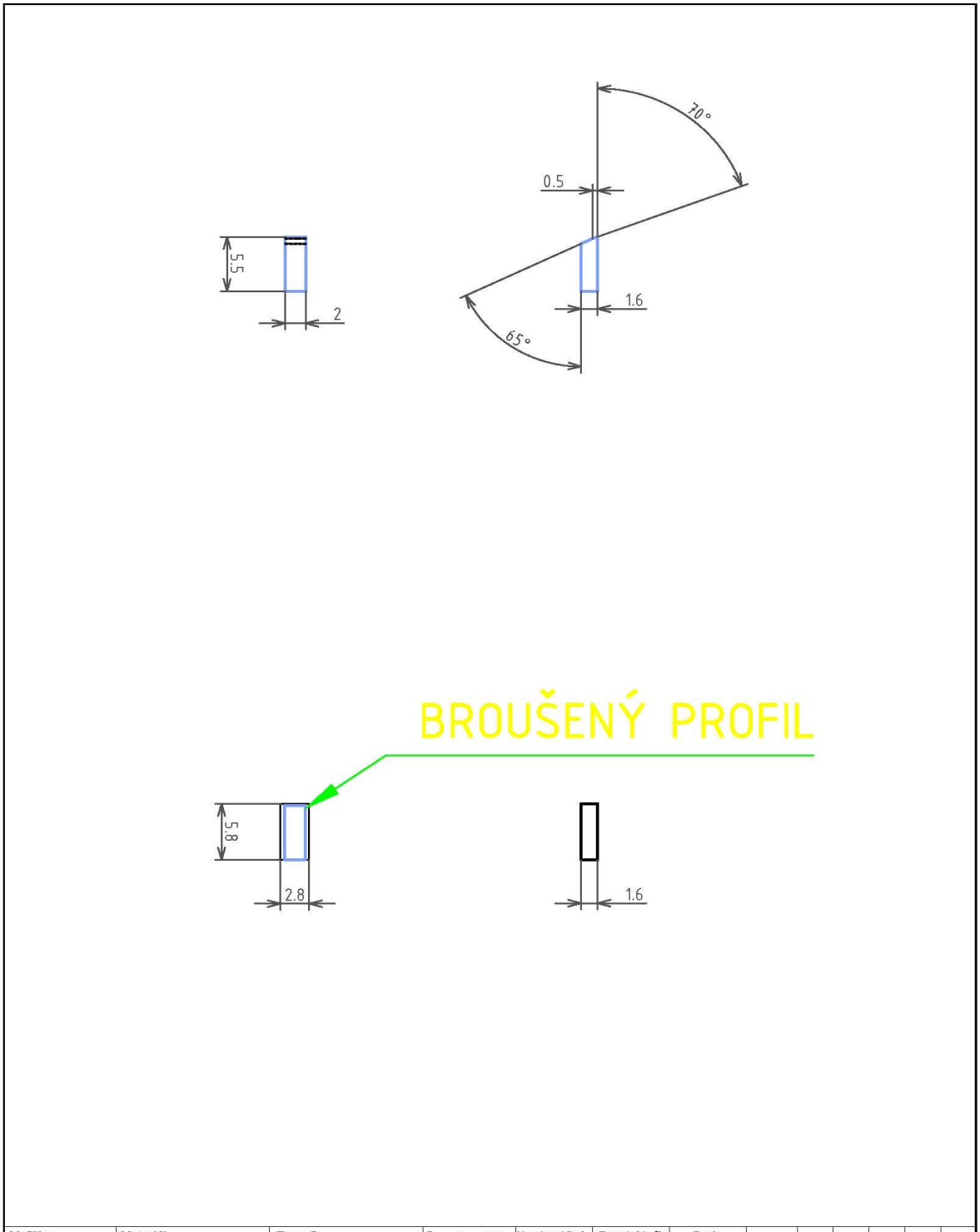
P_{O3}	[Kč·rok^{-1}]	Pracovní obuv
P_{OI3}	[Kč·rok^{-1}]	Pracovní obuv
P_{P1}	[kWh]	Celkový příkon zařízení
P_{PI1}	[kWh]	příkon stroje
P_{P2}	[m^3·hod^{-1}]	Spotřeba stlačeného vzduchu
P_{PI2}	[m^3·hod^{-1}]	Spotřeba stlačeného vzduchu
P_{P3}	[kWh]	Osvětlení stroje zářivkami
P_{PI3}	[kWh]	Osvětlení stroje zářivkami
P_{P4}	[Kč·rok^{-1}]	Teplo pro vytápění
P_{PI4}	[Kč·rok^{-1}]	Teplo pro vytápění
P_{P5}	[l·rok^{-1}]	Spotřeba destilované vody
P_{PI5}	[l·rok^{-1}]	Spotřeba destilované vody
P_{P6}	[Kč·rok^{-1}]	Výměna filtrů filtračního zařízení
P_{PI6}	[Kč·rok^{-1}]	Výměna filtrů filtračního zařízení
P_{PI7}	[kg·hod^{-1}]	Spotřeba drátu
s	[-]	směnnost
š	[mm]	šířka
v	[mm]	výška

Zkratka	jednotka	Označení
AF 007 S	[-]	submikrofiltr
AF0076 A	[-]	koncový filtr
Al	[-]	hliník
C	[-]	uhlík
cad	[-]	computer aided design
cam	[-]	computer aided manufacturing
CBN	[-]	kubický nitrid boru
CLK 007 B	[-]	cyklónový odlučovač
CNC	[-]	Computer numerical control
Co	[-]	kobalt

CO_2	[-]	oxid uhličity
DIA	[-]	Frézy osazené pájenými PKD břity
DPH	[-]	daň přidané hodnoty
dwg	[-]	Počítačová přípona elektronických výkresů
ECD15	[-]	odváděč kondenzátu
HC	[-]	slinutý karbid povlakovaný
He	[-]	helium
HL	[-]	vysocelegovaná NO s více než 5% legujících prvků
HS	[-]	rychlořezná ocel s obsahem více než 12% legujících prvků
HW	[-]	slinutý karbid na bázi wolframu nepovlakovaný
IR	[-]	infračervené záření
Mo	[-]	molybden
MOD	[-]	rozdělení intenzity záření v průřezu výstupního paprsku
NC	[-]	numerical control
Nd	[-]	Neodym
No	[-]	Náklady na obsluhu stroje
PKD	[-]	polykrystalický diamant
Q_s	[-]	kontinuální režim s vysokou energií impulzu
RTG	[-]	röntgenové záření
SK	[-]	slinutý karbid
SP	[-]	nástrojová ocel NO s minimálně 0,6% C a méně než 5% legujících prvků
TEM	[-]	transverse electromagnetic mode
UNI – PROFI	[-]	univerzální nástroj pro CNC obráběcí centra
UV	[-]	ultrafialové záření
V	[-]	vanad
W	[-]	wolfram
YAG	[-]	yttriumaluminumgranát

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Výkres břitové destičky

PŘÍLOHA 1

Výkres břitové destičky