



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGICKÁ STUDIE NASAZENÍ LASEROVÉHO PAPRSKU V PODMÍNKÁCH MALÉ STROJÍRENSKÉ FIRMY

Technological study setting laser jet in conditions small engineering firms

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Zdeněk Cvingráf

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Karel Osička

BRNO 2008

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2007/08

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Cvingráf Zdeněk

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

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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:

Technologická studie nasazení laserového paprsku v podmínkách malé strojírenské firmy.

v anglickém jazyce:

Technological study setting laser jet in conditions small engineering firms.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Řešení studie nasazení kompletní technologie výroby součástek charakteru plechových dílů pomocí nekonvenční metody laserového paprsku a technologie ohraňovacího lisu.

Cíle diplomové práce:

Rozbor možností nekonvenční metody laserového paprsku.

Technologičnost konstrukce součástek.

Návrh dispozice laserového pracoviště, pracoviště ohraňovacího lisu, návrh řešení navazujícího skladového pracoviště.

Provozní náročnost laserové technologie.

Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam odborné literatury:

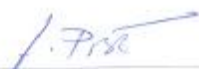
1. KOCMAN, Karel, PROKOP, Jaroslav. Technologie obrábění. Brno : Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
2. MAŇKOVÁ, Ildikó. Progresívne technológie : Advanced methods of material removal. Košice : Viena, 1999. 275 s. ISBN 80-7099-430-4.
3. OBERG, E., JONES, F.D., HORTON, H.L. and RYFFEL, H.H. Machinery's hand-book. 25th Edition New York: Industrial Press Inc., 1996. 2547 s. ISBN 0-8311-2595-0.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Karel Osička

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne 23.11.2007




doc. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu


doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Vložit Licenční smlouvu v elektronické formě 1 strana (scan)

Vložit Licenční smlouvu v elektronické formě 2 strana (scan)

ABSTRAKT

Rozbor možností laserového paprsku. Technologičnost konstrukce součástek. Návrh dispozice laserového pracoviště. Návrh pracoviště ohraňovacího lisu. Návrh skladového hospodářství. Provozní náročnost laserové technologie. Technicko – ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova

Řezání laserovým paprskem. Uspořádání laserového pracoviště. Manipulace s materiálem. Skladové hospodářství.

ABSTRACT

Analysis of a laser beam possibilities. Technology of component's structure. Design of disposition of a laser's workplace. Design of a folding brake workplace. Concept of stock holding. Operating expenses of a laser technology. The technical – economic summary.

Key words

Cutting laser beam. Arrangement of a laser workplace. Handing of material. Stock holding.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CVINGRÁF, Zdeněk. *Technologická studie nasazení laserového paprsku v podmínkách malé strojírenské firmy: Diplomová práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 68s., 9příloh. Vedoucí práce Ing. Karel Osička.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Technologická studie nasazení laserového paprsku v podmínkách malé strojírenské firmy* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

10.5.2008

.....
Zdeněk Cvingrál

Poděkování

Děkuji tímto panu Ing. Karlu Osičkovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce, panu Ivanu Novotnému z firmy Miroslavské strojírny s.r.o, za umožnění řešení diplomové práce a vstřícný přístup při konzultacích. Dále panu Danu Popelkovi za technické rady.

OBSAH

Abstrakt.....	4
Klíčová slova.....	4
Key words.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah.....	7
Úvod.....	9
1 Představení firmy Miroslavské strojírný s.r.o.....	10
1.1 Historie společnosti.....	10
1.2 Strojní vybavení společnosti na tyto technologie.....	10
1.3 Přehled výrobků společnosti.....	11
2 Rozbor možností nekonvenční metody laserového paprsku.....	13
2.1 Princip laseru a jeho možnosti.....	13
2.2 Základní skupiny laserů.....	14
2.2.1 Pevnolátkové lasery.....	14
2.2.2 Plynové lasery.....	15
2.3 Řezání materiálů laserem.....	17
2.3.1 Řezání kovových materiálů.....	19
2.3.2 Řezání nekovových materiálů.....	20
2.4 Přednosti a nevýhody laserů.....	21
3 Technologičnost konstrukce součástek.....	22
3.1 Možnosti řezacího stroje z hlediska kapacity výroby.....	22
3.2 Druhy vyráběných součástí.....	22
3.2.1 Členění součástí do skupin.....	22
3.3 Výpočet parametrů součástí.....	23
3.3.1 Výpočet obsahů součástí.....	23
3.3.2 Výpočet obsahů formátů plechu.....	27
3.3.3 Výpočet obvodů součástí.....	27
3.4 Návrhy rozmístění součástí do formátu tabule plechu.....	31
3.4.1 Počet součástí č. 4 umístěných do formátu č. 1.....	31
3.4.2 Počet součástí č. 4 umístěných do formátu č. 2.....	31
3.4.3 Počet součástí č. 4 umístěných do formátu č. 3.....	32
3.4.4 Počet součástí č. 5 umístěných do formátu č. 1.....	32
3.4.5 Počet součástí č. 5 umístěných do formátu č. 2.....	33
3.4.6 Počet součástí č. 5 umístěných do formátu č. 3.....	33
3.4.7 Počet součástí č. 6 umístěných do formátu č. 1.....	33
3.4.8 Počet součástí č. 6 umístěných do formátu č. 2.....	33
3.4.9 Počet součástí č. 6 umístěných do formátu č. 3.....	34
3.4.10 Počet součástí č. 7 umístěných do formátu č. 1.....	34
3.4.11 Počet součástí č. 7 umístěných do formátu č. 2.....	34
3.4.12 Počet součástí č. 7 umístěných do formátu č. 3.....	34
3.4.13 Počet součástí č. 8 umístěných do formátu č. 3.....	35
3.4.14 Počet součástí č. 9 umístěných do formátu č. 2.....	35
3.4.15 Počet součástí č. 9 umístěných do formátu č. 3.....	35
3.4.16 Počet součástí č. 10 umístěných do formátu č. 2.....	35
3.4.17 Počet součástí č. 10 umístěných do formátu č. 3.....	36

3.5	Plocha zabraná součástkami ve formátu tabule plechu.....	36
3.6	Procentuální využití tabulí plechu	37
3.7	Úspora materiálu při použití výhodnějšího formátu	38
3.7.1	Porovnání formátů č. 2 a č. 3 pro součást č. 4.....	38
3.7.2	Porovnání formátů č. 2 a č. 3 pro součást č. 5.....	38
3.7.3	Porovnání formátů č. 2 a č. 3 pro součást č. 6.....	39
3.7.4	Porovnání formátů č. 2 a č. 3 pro součást č. 7.....	39
3.7.5	Porovnání formátů č. 2 a č. 3 pro součást č. 9.....	39
3.7.6	Porovnání formátů č. 2 a č. 3 pro součást č. 10.....	39
3.8	Úspora materiálu na výrobní dávku	40
3.9	Dráhy nájezdů a výjezdů laserového paprsku	41
3.10	Celková dráha projetá při řezu jedné tabule plechu	41
3.11	Doba řezu jedné tabule plechu pro jednotlivé součásti.....	42
3.12	Čistá doba řezu dávek jednotlivých součástí	42
4	Návrh dispozice laserového pracoviště, pracoviště ohraňovacího lisu, Návrh řešení navazujícího skladového pracoviště.	43
4.1	Návrh dispozice laserového pracoviště	43
4.1.1	Parametry použité haly	43
4.1.2	Parametry a popis laserového řezacího stroje	43
4.1.3	Možnosti situování laserového pracoviště	44
4.2	Pracoviště ohraňovacího lisu.....	48
4.2.1	Parametry použité haly	48
4.2.2	Parametry a popis ohraňovacího lisu	48
4.2.3	Technologické uspořádání ohraňovacího lisu	49
4.2.4	Popis pracoviště	49
4.3	Návrh řešení navazujícího skladového pracoviště	50
4.3.1	Parametry použité haly	50
4.3.2	Tok materiálu	50
4.3.3	Pojistná zásoba materiálu ve skladu	50
4.3.4	Materiál pro konkrétní výrobu.....	53
5	Provozní náročnost laserové technologie	56
6	Technicko – ekonomické zhodnocení	58
	ZÁVĚR	64
	Seznam použitých zdrojů	65
	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	66
	Seznam příloh	68

ÚVOD

Technologie výroby plechových dílů v současnosti zaznamenává velký rozvoj. Jednou z možných technologií výroby těchto dílů je řezání laserovým paprskem. Tato technologie je pro dnešní průmysl zvláště vhodná svojí produktivitou při udržení výborných vlastností řezné plochy. Použitím zmíněné technologie existuje možnost výroby součástí tzv. na hotovo bez dalších úprav povrchu či hrubé vyříznutí tvaru s následným obráběním případně dokončováním povrchu řezné hrany. Toto ovlivňuje spousta faktorů, především však velikost rychlosti posuvu.

Velký podíl na produktivitě této výroby nese technologické uspořádání výrobního stroje a celků s výrobou spojených. Správné umístění stroje, přípravných a skladovacích ploch v těsné blízkosti stroje a v neposlední řadě začlenění skladu materiálu k tomuto celku, nám v konečné fázi může znatelně snížit vedlejší časy výroby. V opačném případě násobně zvýšit. Další faktor ovlivňující ekonomiku této výroby je podíl automatizace či mechanizace v přípravných a konečných fázích dané výroby.

Využití vhodné mechanizace pro vkládání tabulí plechu do stroje a následné vykládání vypálených dílů včetně odpadu ze stroje, má obrovský vliv na velikost vedlejších časů. Hospodárnost výroby se také odvíjí od vhodného zvolení formátu tabule plechu, rozvržení vypalovaných dílů se zaměřením na minimum odpadu materiálu z dané výroby.

1 PŘEDSTAVENÍ FIRMY MIROSLAVSKÉ STROJÍRNY s.r.o

Společnost Miroslavské strojírný s.r.o. leží ve znojemském okrese asi 26 km východně od Znojma a 46 km jihozápadně od Brna.



Obr.1.1 Administrativní budova firmy (9)



Obr. 1.2 Výrobní areál

1.1 Historie společnosti

Společnost Miroslavské strojírný s.r.o. byla založena v roce 1994. V roce 1996 odkoupila výrobní areál bývalého výrobního provozu Moravských potravinářských strojírén, jejichž provoz se původně zabýval výrobou boxových pekařských pecí a příslušenstvím potravinářských strojů. Společnost částečně navázala na původní výrobu potravinářského zařízení a postupně přešel výrobní program do strojů, zařízení a technologických celků pro textilní a sklářský průmysl a zařízení pro výrobce izolačních materiálů. Výrobní program je zaměřen na zakázkovou výrobu strojů zařízení a výrobků, které se většinou neopakují.(9)

1.2 Strojní vybavení společnosti na tyto technologie

- stříhání plechu do tl. 6 mm – 2000 mm
- ohýbání plechu do tl. 6 mm – 2000 mm
- řezání materiálu - pásové pily do 300 mm
- zakružování plechu do tl. 8 mm – 2000 mm
- zakružování profilů do L80x80x8 mm
- Svařování TIG, MIG/MAG
- pálení plechů plasma – ruční
- bodování plechů
- Strojní vybavení na obrábění
- frézka vertikální a horizontální – vel. stolu 350x2000 mm – 2 ks
- horizontální vyvrtávačka – vel. stolu 1250x1250 mm – 1 ks
- soustruh max. délka 4000 mm – 5 ks

obrážečka svislá
Dopravní a manipulační technika
nákladní vůz do 3,5 t
montážní a servisní vozy – 4 ks
tažený nákladní přívěs – 2 ks
mostový jeřáb do 6 tun
vysokozdvihový vozík do 2 tun (10)

1.3 Přehled výrobků společnosti

Hlavním předmětem podnikání je stavba strojů s mechanickým pohonem. Dále se společnost zabývá výrobou ocelových konstrukcí, kotlů, těles a kontejnerů. Mezi stálý sortiment výrobků patří: Kolečka vozíků do pecí (pevné a otočné), repase stavů Dornier, navážecí vozíky do potravinářských pecí, stojany kokonů, vozíky kokonů, válcovačka trubek, perforované lamely do sušicích pecí, potrubní systémy. (9)



Obr. 1.3 Lamely do sušicích pecí



Obr. 1.4 Válcovačka trubek (9)

2 ROZBOR MOŽNOSTÍ NEKONVENČNÍ METODY LASEROVÉHO PAPRSKU

2.1 Princip laseru a jeho možnosti

Laser je kvantový generátor světelných paprsků sloužící k zesilování světelných vln pomocí stimulové emise záření. Svazek laserových paprsků je zdrojem s vysokou hustotou energie, přičemž záření vychází z laseru ve formě málo rozbíhavého, monochromatického (s jednou vlnovou délkou) a koherentního (v souladu fází) svazku paprsků. Z praktického hlediska laserový paprsek koncentruje vysokou energii do velmi malé plochy, což umožní natavení případně až odpaření materiálu z plochy menší než mm^2 ve zlomcích sekundy. Zmíněné skutečnosti se využívá v praxi při technologiích dělení materiálu, obrábění, svařování, tepelného zpracování či vytváření speciálních povrchových vrstev. Laserové technologie umožňují řezat velmi tvrdé materiály při vysoké kvalitě a rychlosti řezu či vrtat otvory o velikosti setin milimetru. Jednotlivé aplikace však závisí na konstrukci laseru. (4)

Lasery a technické plyny

Použití technických plynů u laserových zařízení se dělí do dvou oblastí

- 1) - jako pracovní náplň - pouze u plynových laserů
- 2) - jako asistenční plyn či ochranná atmosféra

Z hlediska aplikace ve strojírenské výrobě jsou nejčastěji užívané lasery s plynovým aktivním prostředím. Plynové lasery mají název dle druhu aktivního prostředí - tj. dle pracovní náplně. Nejhojněji používaným představitelem těchto laserů je CO_2 laser, jehož aktivní prostředí je tvořeno směsí plynů CO_2 , N_2 a He. Výhody plyného aktivního prostředí jsou především ve snadnějším odvodu tepla, které se může uskutečnit cirkulací. Ve složení směsi plynů zaujímá obsah oxidu uhličitého CO_2 (3 - 10%). Největší zastoupení má Helium He (80%), které má dobrou tepelnou vodivost, a jeho hlavním účelem v aktivním prostředí je odvod tepla. Dusík N_2 (obsah do 10%) je schopen přijmout od helia He srážkovou energii a tu pak dalším srážkovým mechanismem předat molekule oxidu uhličitého CO_2 . Principem CO_2 laseru je pak vibrace molekul CO_2 doprovázená excitací a následným vyzářením fotonů s vlnovou délkou 10,6 μm . Vysoce čisté plyny jsou tedy nezbytnou podmínkou pro efektivní přeměnu elektrické energie na laserové záření probíhající v rezonátoru laseru. Již velmi nízký podíl nečistot může mít neblahý dopad na spolehlivost, životnost a výkon laseru. Proto je nutné používat laserové plyny potřebné minimální čistoty. Některé CO_2 lasery mají zabudované směšovací stanice a potřebují tak jen jednotlivé lahve s plyny. Jiné lasery jsou konstruovány tak, že potřebují směs plynů pracovního prostředí přímo namíchané v jedné tlakové lahvi (tzv. "premixed gases"). (4)

Technické plyny jako ochranná či aktivní atmosféra

Plynná ochranná atmosféra se používá jednak pro ochranu zpracovávaného materiálu před okolní atmosférou nebo i pro oxidační reakci na podporu spalování (pouze při tepelném dělení ocelových materiálů). Pro aplikace svařování či vytváření povrchových vrstev speciálních vlastností se užívají v zásadě inertní plyny - argon, helium a dusík. Při technologiích řezání laserem se do fokusační hlavičky laseru vhání pod tlakem plyn, který může vlastní proces urychlovat buď zvýšeným spalováním, nebo se jím vytlačuje tavenina z řezu, anebo je plyn primárně určen pro ochlazování řezu. Podle toho patří mezi základní metody dělení laserem tavné, oxidační a sublimační řezání. U tavného řezání se dělený materiál lokálně nataví a tavenina je proudem inertního plynu oddělována od základního materiálu. Tento způsob řezání využívá jen malých rychlostí posuvu řezné hlavy a je vhodný především k vytváření nezoxidovaných řezů kovových materiálů. Oxidační řezání se od tavného liší použitím kyslíku jako řezného plynu. Jeho reakcí roztaveným povrchem kovu vzniká exotermní reakce, která má za následek další ohřátí materiálu. Tím lze dosáhnout vyšších rychlostí řezu, řez je však horší kvality, s vyšší drsností a větší tepelně ovlivněnou zónou. Při sublimačním řezání je materiál v místě řezu odpařován. (4)

2.2 Základní skupiny laserů

V současné době se používají v mnoha oblastech vědy a techniky různé typy laserů. Jednotlivé typy se od sebe vzájemně liší buď konstrukčním uspořádáním a volbou aktivního prostředí, nebo jinou formou energie použité k čerpání. Z těchto důvodů jsou lasery rozděleny do následujících základních skupin:

- pevnolátkové
- plynové
- kapalinové
- polovodičové
- chemické
- s organickými barvivy
- další speciální typy

Podle svých charakteristických vlastností jsou lasery jednotlivých skupin používány k nejrůznějším účelům.

Pro potřeby tavného svařování, řezání, pájení a dalších příbuzných technologií kovových i nekovových materiálů jsou používány především lasery pevnolátkové a plynové. (8)

2.2.1 Pevnolátkové lasery

Jde o typ laserů, jejichž aktivní prostředí je pevná látka, obsahující ionty vzácných zemin, event. některé další prvky. Těmito prvky je v poměrně malých procentech obohacena krystalová mřížka, popř. amorfní matrice nosného materiálu. Aktivní ionty jsou zdrojem stimulovaného záření. Přes absorpční pásy těchto iontů se obsazují příslušné energetické hladiny, mezi kterými dochází k inverzi. (8)

Existuje velké množství aktivních prostředí. Pro technologické využití má význam rubínový laser, laser Nd - YAG a laser s neodymovým sklem. (8)

Rubínový laser

Základem tohoto laseru je rubín - Al_2O_3 aktivován ionty Cr_3+ (asi 0,05 % váhového množství Cr_2O_3 v Al_2O_3) substitucí za Al. Rubínový laser je tříhladinový, k dosažení inverze je potřeba přečerpat minimálně polovinu Cr_3+ ze základního stavu. To vyžaduje značný čerpací výkon. Čerpání energie je prováděno absorpcí světelné energie z čerpacích výbojek. V současné době se používají průmyslově pouze výjimečně. Pracují v pulsním režimu. (8)

Nd - YAG lasery

Jedná se o nejpoužívanější pevnolátkový laser. Základem je Ytrium-Aluminiový Granát $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$. Doposud se používají tyčky kruhového průřezu, na vyšší výkony se prosazuje SLAB technologie, tj. krystaly ve formě seříznutých kvádrů. Čerpací systém je tvořen jednou nebo více výbojkami, v případě YAG laseru na bázi kryptonu. Výbojky i krystal jsou intenzivně chlazeny deionizovanou vodou a jsou uzavřeny v dutině rezonátoru, která může mít různý tvar. Vždy se však volí tak, aby většina světla z výbojek byla odražena do krystalu. Dutina je pokovena k zvýšení odrazivosti světla. (8)

Vlnová délka záření Nd:YAG laserů je 1,06 μm . Výkon těchto laserů je obvykle do 1,5 kW.

Malá účinnost pevnolátkových laserů (cca 5%-10%) přináší určité problémy: zdroj energie je poměrně veliký a většina energie je přeměňována v teplo v aktivním prostředí, z čehož plynou vysoké nároky na chlazení. Jestliže je krystal zahřátý (nestačí se dostatečně chladit), tepelné pnutí může způsobit jeho zakřivení. Krystal potom působí jako čočka a degraduje mód záření. (8)

Kvalita svazku a možnost fokusace jsou velmi závislé na průměrném výkonu laseru. Velmi jemné a přesné řezání, svařování a vrtání může být dosaženo při nízkých hladinách průměrného výkonu. Vysoce výkonné Nd -YAG lasery jsou prakticky používány jen pro svařovací aplikace.

Nd - YAG lasery se používají ve spojení s vláknovou optikou (záření jí prochází), lze je spojovat a zvyšovat výkon svazku. (8)

2.2.2 Plynové lasery

CO₂ lasery

Vzhledem ke svým výkonovým možnostem se jedná o nejvíce používané lasery pro řezání a svařování. První CO₂ laser byl zkonstruován C.K.N. Patelem v roce 1966. Současné lasery tohoto typu mohou pracovat v pulsním i kontinuálním režimu s nízkou modovou strukturou svazku. Z hlediska konstrukčního uspořádání se vyrábějí lasery s axiální a příčnou excitací aktivního prostředí. (8)

CO₂ lasery dosahují výkon do cca 20 kW. Typický výkon laserů je 500 až 5000 W. Obecně jsou CO₂ lasery spínány elektronickým spínačem tak, že délka pulsů je v rozmezí od 0,1 ms do kontinuálního provozu (cw). Špičkový výkon v pulsu u CO₂ laserů je normálně stejný jako maximální cw výkon, tzn. že průměrný výkon se při pulsaci snižuje.

Některé CO₂ lasery mohou při pulsaci dosáhnout špičkového výkonu pulsu až 5x vyššího, než je cw výkon. Tato skutečnost se nazývá superpulsací. (8)

U CO₂ laserů je aktivní médium směs plynů CO₂, N₂, He, někdy s dalšími přídatnými plyny. Toto aktivní prostředí konvertuje přiváděnou elektrickou energii ve formě výboje v dutině laseru na laserové záření, které osciluje v optickém rezonátoru, který je tvořen dvěma nebo více zrcadly. Emituje infračervené záření o vlnové délce 10,6 μm. CO₂ lasery mají různé konstrukce rezonátorů, systému proudění plynu a elektrického výboje, každá s vlastní specifickou charakteristikou. (8)

CO₂ lasery s pomalým prouděním (axiální)

(slow axial flow)

Tento typ je tradiční, nejstarší CO₂ laser s pomalým prouděním plynů rezonátorem. Prostřednictvím stejnosměrného nebo střídavého elektrického výboje se přivádí energie aktivnímu prostředí. Výboj má směr shodný s osou rezonátoru i svazku vystupujícího záření. Tyto lasery dosahují výkonu cca 50 W na jeden metr délky výbojové trubice v rezonátoru. Výstupní výkon na metr délky rezonátoru je limitován možností chlazení. (8)

Dosahuje se stabilní výstupní výkon a dobrá módová charakteristika svazku záření, což je příčinou hladkých a jakostních řezů. Využívají se asi do 1000 W výstupního výkonu. Provoz je pulsní i kontinuální. (8)

CO₂ lasery s rychlým prouděním (axiální)

(fast axial flow)

V této konstrukční koncepci řešení aktivní plyn proudí dutinou laseru vysokou rychlostí. Potřebné chlazení plynu a jeho regenerace jsou zajišťovány mimo dutinu rezonátoru.

Tento typ laserů je kompaktní konstrukce, výkon se dosahuje 500 až 1000 W na jeden metr délky rezonátoru. Výsledná módová struktura svazku záření je obecně poměrně dobrá, často však dochází k rychlým fluktuacím modu, což může vést ke zhoršení kvality řezu. Fast axial flow lasery mohou pracovat také v pulsním provozu a to v širokých mezích, ale pomíjející fluktuace mohou způsobit horší stabilitu pulsů. (8)

Typický výkon laserů tohoto typu je v oblasti 500 až 5000 W.

Elektrické napájení těchto typů laserů je běžně typu DC (stejnosměrné). V poslední době se objevily na trhu RF - excitované lasery, které jsou napájeny proudem vysoké frekvence v oblasti kilohertz AC (střídavě). Toto vede ke zvýšení stability paprsku. Dnes jsou využívány RF buzené lasery o výkonu cca 5 kW i více, jak s pulsním, tak i kontinuálním provozem. Jsou často používány k řezání. (8)

CO₂ lasery s příčným prouděním

(transverse)

Jedná se o velmi kompaktní konstrukci. Laserový svazek, proudění plynu a elektrický výboj jsou ve třech různých směrech.

Dosahuje se výkonu až 1 kW na metr rezonátoru. Zároveň je však výboj těžko říditelný a tento typ laserů nemůže být obecně pulsován. Také

módová struktura svazku bývá pro řezání nepříznivější, než u jiných druhů CO₂ laserů.

Příčné lasery jsou používány v oblasti výkonů 1 až 20 kW. Jsou především používány pro svařování a tepelné zpracování a jen velmi málo pro řezání.

Běžně je tento typ laseru excitován DC výbojem. Na trhu je několik málo japonských systémů s RF výbojem. Tyto lasery jsou mnohem lépe říditelné než při DC výboji. (8)

2.3 Řezání materiálů laserem

Laser je možné považovat za univerzální nástroj pro technologii řezání (tepelné dělení materiálů), vhodný pro sériovou a malosériovou výrobu. Na řezání se nejvíce používají CO₂ lasery. Řezání/dělení laserem je odstraňování materiálu postupným působením paprsku a proudu plynu, vesměs kyslíku, dusíku, stlačeného vzduchu, argónu či hélia. (7)

Hlavní mechanismus úběru při řezání laserem

- erozivní účinek vysokoenergetických částic fotonů na povrch materiálu
- lokální natavení povrchu
- odstranění taveniny odpařením, nebo pomocí přídavného stlačeného plynu, který tlakem odstraňuje natavené částice materiálu z prostoru řezu

Řez vzniká v tavenině stříhem, působením tlaku přídavného plynu, který je vedený koaxiálně s laserovým paprskem. Většina taveniny je vytlačena ze zářezu (řezné drážky), vysoká jakost povrchu je závislá na povrchovém napětí materiálu. Pro řezání je laser vybaven tzv. řezací hlavou, která chrání optiku před poškozením a zároveň přivádí pomocný a nebo ochranný plyn do prostoru řezání. (7)

Volba přídavného plynu závisí na materiálu dílce. Pro kovy a uhlíkové oceli se používá kyslík, vzduch a inertní plyny se používají pro nekovy a plasty. Mimo inertních plynů a kyslíku se používá také dusík, především pro řezání nekovových materiálů. Dusík chrání řezné plochy před spálením a vznícením. (7)

Vlastní proces řezání závisí na druhu materiálu a použitém plynu. Může se uskutečňovat několika způsoby:

- laserové sublimační řezání – laserový paprsek ohřívá povrch materiálu na teplotu odpařování a přiváděný inertní plyn odstraňuje vznikající páru na čele řezu. Doporučuje se jen pro malé tloušťky materiálu.
- laserové tavné řezání – silný proud inertního plynu odstraňuje roztavený materiál z místa řezu. Povrch materiálu se ohřívá pouze na teplotu tavení, takže je potřeba méně energie na jednotkovou délku řezu.
- laserové řezání s aktivním plynem – používá se většinou kyslík, který vyvolává exotermickou reakci při spalování základního materiálu, tím se dosahuje rychlejší ohřev, vyšší rychlost řezání s kvalitním povrchem řezu. (7)

Řezný proces

Řezný proces probíhá na základě vzájemného působení laserového paprsku, řezného plynu a řezaného materiálu. Oblast, ve které k těmto účinkům dochází, je ohraničena řeznou spárou ve směru řezu a nazývá se čelem řezu. Paprsek, který na toto čelo působí, musí natavit materiál na teplotu, která vede ke změně pevné fáze materiálu na kapalnou a plynnou.

Pásma, které absorbovaný laserový paprsek ohřívá až na teplotu tání, se v důsledku exotermické reakce s proudícím kyslíkem ještě dále otepluje až k teplotě vznícení. Následuje silné odpařování materiálu, které vede k jeho odvodu. Současné mechanické působení proudu řezného plynu unáší částice tekutého materiálu mimo prostor řezu. Roztavené pásmo se pohybuje ve směru řezu a proces natavování se neustále opakuje. Laserový paprsek v případě kontinuálního řezání tedy stabilně postupuje a představuje vlastní "řezný" nástroj. (13)

Laserový paprsek je definován svojí vlnovou délkou, výkonem, rozdělením hustoty energie v příčném průřezu (módem), polarizací, divergencí a průměrem. Pro dosažení potřebné hustoty energie pro řezání je laserový paprsek fokusován optikou (takřka výhradně čočkovou), která je definována ohniskovou vzdáleností, transparentí, absorpcí a reflexivitou, fokusační kaustickou plochou a hloubkou ostrosti. Řezný proces dále ovlivňuje poloha ohniska fokusační optiky ve vztahu k povrchové ploše materiálu. (13)

Protože celá řada parametrů je definována principiálně a nelze je u daného laseru měnit, pro vlastní technologický proces jsou důležité pouze tyto parametry:

- výkon laserového paprsku,
- transparence fokusační optiky (především její snižování se stárnutím optiky),
- ohnisková vzdálenost optiky,
- poloha ohniska ve vztahu k povrchové ploše obrobku. (13)

Tepelně-fyzikální vlastnosti řezaného materiálu

Pro technologický proces řezání jsou rozhodující tyto tepelně-fyzikální vlastnosti materiálu:

- reflexivita řezaného materiálu rozhodující pro vlnovou délku laserového paprsku,
- hustota materiálu,
- tepelná kapacita,
- skupenské teplo tání,
- skupenské teplo výparné,
- tepelná vodivost,
- teplota tání,
- teplota vypařování,
- chemická energie vzniklá při reakci řezaného materiálu s kyslíkem,
- elektrický odpor materiálu.

Parametry řezného plynu

Pro proces řezání jsou důležité tyto parametry řezného plynu:

- druh plynu,
- pracovní tlak,
- průměr trysky, kterou proudí řezný plyn,
- geometrie tvaru trysky.

Tlak plynu a geometrie tvaru trysky ovlivňují kvalitu řezu, drsnost povrchu řezné plochy a tvorbu otřepů. Tlak plynu se pohybuje při řezání nízkotlakém do 100 kPa, při řezání středotlakém do 500 kPa a při řezání vysokotlakém do 2 MPa. Konvenční trysky mají kruhový, kuželovitě se rozšiřující otvor. Odstup trysky od materiálu musí být co možno nejmenší, aby plyn optimálně působil v řezné drážce. Obvykle se pohybuje mezi 0,5-2,5 mm. Na odstranění taveniny z drážky se podílí pouze ta část plynu, která do ní vstupuje. Proto se jeví jako výhodný průměr trysky přibližně rovný šířce řezné drážky řezu. Takto malý průměr se však brzy znečistí a znemožňuje další řezání. Proto v praxi leží průměr trysek mezi 1-2,5 mm. Spotřeba řezného plynu je závislá na průměru trysky a tlaku plynu. (13)

2.3.1 Řezání kovových materiálů

Pro řezání a dělení ocelí se především používají CO₂ lasery, které jsou nejehospodárnější pro tloušťky 6 až 7 mm, avšak je možné řezat i větší tloušťky až do 20 mm.

Při dělení ocelových materiálů se rozlišuje druh oceli (měkká, nízkolegovaná, legovaná, korozivzdorná a jiné), historie zpracování (plechy válcované za tepla, za studena) a dodatečné úpravy (povrchově upravené plechy, tryskané povrchy plechů, pozinkované a jiné), které je potřeba brát v úvahu při návrhu použití laserové technologie. (7)

Stav povrchu po předcházející operaci ovlivní aplikaci laserového dělení stejně jako zbytky olejů a maziv, kontaminované produkty, korozní zplodiny a tvrdé oxidické vrstvy, které mohou způsobit při řezání znečištění prostředí. Oxidické vrstvy zpomalují rychlost řezání a zhoršují kvalitu řezu tvořením otřepů ve formě ztuhnutých kapek materiálu ve spodní části řezu.

Řezání pozinkovaných plechů je provázené natavením a odpařením zinku v místě řezu (bod tavení zinku 420°C, oceli 1430°C), tvoření kapek roztaveného a ztuhnutého zinku ve spodní části řezu zhoršují kvalitu řezu. Mimo to, výpary zinku jsou zdraví škodlivé, musí být použito dostatečné odsávání. (7)

Pogumované a barvené plechy je možné řezat laserem, ale při řezání dochází k poškození povlaku v oblasti řezu, poškození je způsobené odvodem tepla z místa řezu, čímž degraduje vazba mezi povlakem a plechem. (7)

Tryskané povrchy plechů vykazují při řezání nízkou kvalitu řezu v důsledku usazených tvrdých částic tryskací směsi v roztaveném materiálu, které zůstaly v místě řezu. (7)

Korozivzdorné oceli je potřebné řezat v závislosti na obsahu chrómu až o 40% pomaleji než nízkolegované oceli (chróm má silný sklon k tvorbě oxidační vrstvy, která brání další oxidaci při řezání). Maximální tloušťka

řezaných korozivzdorných materiálů je při stejném výkonu nižší než u ocelí nízkolegovaných. Doporučené tloušťky pro řezání korozivzdorných ocelí pro výkon laseru od 500 do 1500 W jsou od 1 do 9 mm. Při řezání korozivzdorných ocelí se hůř odstraňuje tavenina ze zářezu. Oxid chrómu brání úniku taveniny ze zářezu a ta zůstává ve formě otřepů na spodní straně řezu. (7)

Neželezné kovy jako titan, hliník, nikl a měď jsou vhodné pro řezání CO₂ laserem pouze s určitým omezením. Proces řezání je méně efektivní jako při řezání ocelí. Tyto kovy mají silný sklon k oxidaci a při řezání vyžadují někdy vakuovou atmosféru. Jsou charakteristické vznikem otřepů (ztuhnutých kapek materiálu). Na druhé straně i kovy, které nejsou silně reaktivní s kyslíkem, jako nikl, se doporučuje řezat laserem pomocí ochranného přídavného plynu, obvykle inertního plynu jako argon. (7)

Rychlost řezání neželezných kovových materiálů je nižší než u ocelí. Toto nastává z důvodu vyšší tepelné vodivosti a reflektivity těchto kovů. Patrná je také nižší účinnost oxidační reakce při řezání. (7)

Protože titan je náchylný na tvoření výrazné oxidické vrstvy, pro řezání se doporučuje používat argon jako přídavný plyn, který zaručí, aby hrana řezu nebyla zoxidovaná a aby měla stříbrnou barvu. Žlutá nebo modrá barva hrany řezu svědčí o přítomnosti oxidické vrstvy. Řezání titanu vysokým tlakem plynu (0,3 až 1 MPa) zaručuje kvalitní řeznou hranu bez otřepů. Kyslík jako přídavný plyn při řezání titanu je nebezpečný z možnosti nekontrolovatelného vzplanutí. (7)

Hliník a jeho slitiny se doporučuje řezat až po vytvoření anodické vrstvy, anodizovaný povrch umožňuje řezání hliníku až o 30% rychleji. (7)

2.3.2 Řezání nekovových materiálů

Řezný proces nekovových materiálů (keramika, plasty a kompozitní materiály) zahrnuje tři dominantní mechanismy:

- dělení tavením a následným stříhem je velmi rychlý způsob řezání s vysokou kvalitou řezu a je typický pro termoplasty (polypropylen, polystyren, nylon, polyetylén) a pro keramické materiály, (7)

- odpařováním natavením a následným odpařením materiálu v místě řezu vzniká velmi kvalitní řezná spára, plocha řezu je hladká jako by leštěná, při řezání vlivem vysoké teploty (nad teplotu tavení) dochází ke změně fází materiálu, z pevné na kapalnou a následně na páru. Tento mechanismus je typický pro plexisklo, polyacetát, acyl, (7)

- chemická degradace, která vzniká vlivem vysoké teploty a nerovnoměrného složení materiálů. Některé fáze materiálu zaznamenávají chemické změny. Laserová energie láme chemické vazby a integritu materiálu. Hrany po řezání jsou rovné a povrch řezu je hladký, ale je pokrytý jemnou vrstvou uhlíkového prachu. Tento mechanismus je typický pro řezání produktů na bázi dřeva, kompozitních materiálů, ale i některých plastů, jako polyvinylchlorid, polyuretan. (7)

Při řezání kompozitních materiálů se doporučuje výkon laseru volit s ohledem na vlastnosti použitých vláken a ne na vlastnosti matrice. Vysoký výkon potřebný pro řezání vláken chemicky degraduje především polymerní matrice. Matrice a vlákna mají rozdílné teploty odpařování a tudíž i časy natavení materiálů. (7)

2.4 Přednosti a nevýhody laserů

Přednosti laserů vyplývající z porovnání s jinými zdroji energie

- extrémní koncentrace a hustota energie, jednoduchá regulace výkonu a snadné ovládání paprsku
- odpadají nástroje v klasickém slova smyslu a tedy i jejich údržba,
- dosahuje se velké přesnosti, ozáření oblasti a tepelné ovlivnění této oblasti je malé
- přípravné práce a seřizování jsou časově poměrně málo náročné,
- technologický proces je možné automatizovat a výrobní operace robotizovat
- hospodárnost i při malých výrobních sériích
- možnost řezání složitých tvarů

K nevýhodám laserů patří:

- vysoká pořizovací cena a nutnost dovozu zařízení a náhradních dílů,
- malá účinnost (asi 10%) s ohledem na celkový příkon zařízení,
- přísná bezpečnostní opatření a náročnost údržby. (12)

3 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE SOUČÁSTEK

3.1 Možnosti řezacího stroje z hlediska kapacity výroby

Laserový řezací stroj od firmy LVD, typ Orion, má maximální rozjezd řezací hlavy v ose X a to 3080 mm. Příčný rozjezd v ose Y činí 1555 mm. Maximální tloušťka řezaného materiálu je 16 mm. Z výše uvedených hodnot je patrné, že lze použít formát plechu maximálně 3000x1500 mm. Při použití okraje formátu 10 mm dle zkušeností firmy Technologické centrum, vyplývá možnost řezu součástí v maximální délce 2980 mm a šířce 1480 mm. Zmíněný okraj je zde použit z důvodu vyrušení tepelného zatížení a z důvodu nosného rámu vypálených součástí. (5)

3.2 Druhy vyráběných součástí

3.2.1 Členění součástí do skupin

Vyráběné součásti jsou obdélníkového tvaru s různým poměrem stran délky k výšce. Podle plochy součástí, by se daly rozdělit do čtyř skupin. První skupina zahrnuje všechny součásti do plochy 20 000 mm². Druhá by byla s plochou do hodnoty 170 000 mm². Třetí by zahrnovala všechny součásti s plochou do 300 000 mm². V poslední skupině jsou součásti s plochou nad 300 000 mm².

1. Součásti ve skupině 1

V této skupině jsou zařazeny 4 typy součástí podobného tvaru. Pro jednodušší značení součástí v následujících výpočtech použijeme náhradní značení součástí. Součást s názvem Příčka a číslem výkresu 4020/04/03–001–04 nahradíme názvem Součást č.4. Součást s názvem Příčka kamene a číslem výkresu 4020/04/03–001–05 nahradíme názvem Součást č.5. Součást s názvem Příčka a číslem výkresu 4020/04/03–001–06 nahradíme názvem Součást č.6. A jako poslední součást s názvem Příčka a číslem výkresu 4020/04/03–001–07 nahradíme názvem Součást č.7.

Všechny tyto součásti jsou vyráběné z oceli 11 375 a tloušťky plechu 4 mm. Maximální délka největší součásti je 180 mm a šířka 112 mm.

2. Součásti ve skupině 2

Tato skupina zahrnuje v této firmě dvě součásti. Jedná se o součást s názvem Bočnice a číslem výkresu 2–980–3–2–71–7153, kterou dále budeme nazývat Součást č.10 a součást s názvem Lamela a číslem výkresu 2–980–2–1–71–7153, kterou dále nazveme Součást č.9.

Dané součásti jsou vyráběny z oceli 17 241 o tloušťce plechu 0,8 mm. Maximální rozměry součástí jsou délka 1240 mm a šířka 140,8 mm.

3. Součásti ve skupině 3

Ve třetí skupině je zařazena prozatím jen jedna součást. Součást s názvem Bočnice a číslem výkresu 4020/04/03–001–01 nahradíme názvem Součást č.8.

Zmíněná součást je vyráběná z oceli 11 375 o tloušťce plechu 8 mm a maximálních rozměrech 2690×97 mm.

4. Součásti ve skupině 4

V poslední skupině prozatím nejsou zařazeny žádné součásti.

3.3 Výpočet parametrů součástí

3.3.1 Výpočet obsahů součástí

1. Obsah součásti č.4

Hlavní rozměry součásti: strana a = 160 mm, strana b = 115 mm, výška v = 97 mm, délka drážky l = 83 mm, poloměr zaoblení drážky r = 4,5 mm.

$$S_o = \frac{a+b}{2} \cdot v \quad (3.1)$$

$$S_d = 2 \cdot (a+b) + \Pi \cdot r^2 \quad (3.2)$$

$$S_c = S_o - S_d \quad (3.3)$$

Tab. 3.1 Vypočítané hodnoty

Vypočítané veličiny	Vypočítané hodnoty [mm ²]
S _o	13337,5
S _d	1557,6
S _c	11779,9

2. Obsah součásti č. 5

Hlavní rozměry součásti: strana a = 160 mm, strana b = 97 mm, délka drážky l = 83 mm, poloměr zaoblení drážky r = 4,5 mm.

$$S_o = a \cdot b \quad (3.4)$$

$$S_d = 2 \cdot (a + b) + \Pi \cdot r^2 \quad (3.5)$$

$$S_c = S_o - S_d \quad (3.6)$$

Tab. 3.2 Vypočítané hodnoty

Vypočítané veličiny	Vypočítané hodnoty [mm ²]
S _o	15520
S _d	1557,6
S _c	13962,4

3. Obsah součásti č. 6

Hlavní rozměry součásti: strana a = 180 mm, strana b = 104 mm, délka drážky l = 83 mm, poloměr zaoblení drážky r = 4,5 mm, sražení 9 x 12 mm.

$$S_o = a \cdot b \quad (3.7)$$

$$S_d = 2 \cdot (a + b) + \Pi \cdot r^2 \quad (3.8)$$

$$S_s = 2 \cdot \left(\frac{1}{2} a \cdot b \right) \quad (3.9)$$

$$S_c = S_o - S_d - S_s \quad (3.10)$$

Tab. 3.3 Vypočítané hodnoty

Vypočítané veličiny	Vypočítané hodnoty [mm ²]
S _o	18720
S _d	1557,6
S _s	108
S _c	17054,4

4. Obsah součásti č. 7

Hlavní rozměry součásti: strana a = 180 mm, strana b = 112 mm, délka drážky l = 83 mm, poloměr zaoblení drážky r = 4,5 mm, sražení 9 x 12 mm.

$$S_o = a \cdot b \quad (3.11)$$

$$S_d = 2 \cdot (a + b) + \Pi \cdot r^2 \quad (3.12)$$

$$S_s = 2 \cdot \left(\frac{1}{2} a \cdot b \right) \quad (3.13)$$

$$S_c = S_o - S_d - S_s \quad (3.14)$$

Tab. 3.4 Vypočítané hodnoty

Vypočítané veličiny	Vypočítané hodnoty [mm ²]
S _o	20160
S _d	1557,6
S _s	108
S _c	18494,4

5. Obsah součásti č. 8

Hlavní rozměry součásti: strana a = 2690 mm, strana b = 97 mm, délka drážky l = 10 mm, poloměr zaoblení drážky r = 2,5 mm.

$$S_o = a \cdot b \quad (3.15)$$

$$S_d = \frac{\Pi \cdot r^2}{2} + (a \cdot b) \quad (3.16)$$

$$S_c = S_o - 13 \cdot S_d \quad (3.17)$$

Tab. 3.5 Vypočítané hodnoty

Vypočítané veličiny	Vypočítané hodnoty [mm ²]
S _o	260930
S _d	59,82
S _c	260152,34

6. Obsah součástí č. 9

Hlavní rozměry součásti: strana $a = 1180$ mm, strana $b = 134,6$ mm, rozměry výstupků: strana $a = 10$ mm, strana $b = 6$ mm.

$$S_o = a \cdot b \quad (3.18)$$

$$S_v = 8 \cdot a \cdot b \quad (3.19)$$

$$S_c = S_o - S_v \quad (3.20)$$

Tab. 3.6 Vypočítané hodnoty

Vypočítané veličiny	Vypočítané hodnoty [mm ²]
S_o	158828
S_v	480
S_c	159308

7. Obsah součástí č. 10

Hlavní rozměry součásti: strana $a = 1180$ mm, strana $b = 140,8$ mm, Podrobnější rozměry této součásti příloha č. 7

$$S_o = a \cdot b \quad (3.21)$$

$$S_v = 4 \cdot a \cdot b \quad (3.22)$$

$$S_t = \frac{1}{2} \cdot a \cdot b \quad (3.23)$$

$$S_c = S_o + S_v + 4 \cdot S_t \quad (3.24)$$

Tab. 3.7 Vypočítané hodnoty

Vypočítané veličiny	Vypočítané hodnoty [mm ²]
S_o	166144
S_v	600
S_t	450
S_c	168544

3.3.2 Výpočet obsahů formátů plechu

Pro laserový řezací stroj je možné použít třech formátů plechu o těchto rozměrech: 1. $a = 2000$ mm, $b = 1000$ mm, 2. $a = 2500$ mm, $b = 1250$ mm, 3. $a = 3000$ mm, $b = 1500$ mm. Z těchto rozměrů je možné vypočítat pomocí vzorce 3.25 obsahy těchto formátů.

$$S_f = a \cdot b \quad (3.25)$$

Tab. 3.8 Vypočítané hodnoty

Vypočítané veličiny	Vypočítané hodnoty [mm ²]
S_{f1}	$2 \cdot 10^6$
S_{f2}	$3,125 \cdot 10^6$
S_{f3}	$4,5 \cdot 10^6$

3.3.3 Výpočet obvodů součástí

1. Obvod součástí č. 4

Hlavní rozměry součásti: strana $a = 160$ mm, strana $b = 115$ mm, výška $v = 97$ mm, délka drážky $l = 83$ mm, poloměr zaoblení drážky $r = 4,5$ mm.

$$O_{2d} = \Pi \cdot d + 4 \cdot l \quad (3.26)$$

$$O_o = 2 \cdot \sqrt{v^2 + s^2} + b + c \quad (3.27)$$

$$O_{s4} = O_{2d} + O_o \quad (3.28)$$

Kde v a s jsou strany pravoúhlého trojúhelníka v součásti.

Tab. 3.9 Vypočítané hodnoty

Vypočítané veličiny	Vypočítané hodnoty [mm]
O_{2d}	360,27
O_o	456,16
O_{s4}	816,43

2. Obvod součásti č. 5

Hlavní rozměry součásti: strana a = 160 mm, strana b = 97 mm, délka drážky l = 83 mm, poloměr zaoblení drážky r = 4,5 mm.

$$O_{2d} = \Pi \cdot d + 4 \cdot l \quad (3.29)$$

$$O_o = a + 2 \cdot b + c \quad (3.30)$$

$$O_{s5} = O_{2d} + O_o \quad (3.31)$$

Tab. 3.10 Vypočítané hodnoty

Vypočítané veličiny	Vypočítané hodnoty [mm]
O_{2d}	360,27
O_o	496
O_{s5}	856,27

3. Obvod součásti č. 6

Hlavní rozměry součásti: strana a = 180 mm, strana b = 104 mm, délka drážky l = 83 mm, poloměr zaoblení drážky r = 4,5 mm, sražení 9 x 12 mm.

$$O_{2d} = \Pi \cdot d + 4 \cdot l \quad (3.32)$$

$$O_o = a + 2 \cdot b + c \quad (3.33)$$

$$O_{s6} = O_{2d} + O_o + 2 \cdot \sqrt{i^2 + j^2} \quad (3.34)$$

Kde i a j jsou strany pravoúhlého trojúhelníka úkosu.

Tab. 3.11 Vypočítané hodnoty

Vypočítané veličiny	Vypočítané hodnoty [mm]
O_{2d}	360,27
O_o	508
O_{s6}	898,27

4. Obvod součásti č. 7

Hlavní rozměry součásti: strana a = 180 mm, strana b = 112 mm, délka drážky l = 83 mm, poloměr zaoblení drážky r = 4,5 mm, sražení 9 x 12 mm.

$$O_{2d} = \Pi \cdot d + 4 \cdot l \quad (3.35)$$

$$O_o = a + 2 \cdot b + c \quad (3.36)$$

$$O_{s7} = O_{2d} + O_o + 2 \cdot \sqrt{i^2 + j^2} \quad (3.37)$$

Kde *i* a *j* jsou strany pravoúhlého trojúhelníka úkosu.

Tab. 3.12 Vypočítané hodnoty

Vypočítané veličiny	Vypočítané hodnoty [mm]
O_{2d}	360,27
O_o	524
O_{s7}	914,27

5. Obvod součásti č. 8

Hlavní rozměry součásti: strana a = 2690 mm, strana b = 97 mm, délka drážky l = 10 mm, poloměr zaoblení drážky r = 2,5 mm.

$$O_d = \frac{\Pi \cdot d}{2} + 2 \cdot l \quad (3.38)$$

$$O_o = a + 2 \cdot b + c \quad (3.39)$$

$$O_{s8} = 13 \cdot O_d + O_o \quad (3.40)$$

Tab. 3.13 Vypočítané hodnoty

Vypočítané veličiny	Vypočítané hodnoty [mm]
O_d	27,85
O_o	5509
O_{s8}	5871,05

6. Obvod součásti č. 9

Hlavní rozměry součásti: strana $a = 1180$ mm, strana $b = 134,6$ mm, rozměry výstupků: strana $a_v = 10$ mm, strana $b_v = 6$ mm.

$$O_v = 8 \cdot (2 \cdot a_v + b_v) \quad (3.41)$$

$$O_o = 2 \cdot a + 2 \cdot b - 8 \cdot b_v \quad (3.42)$$

$$O_{s9} = O_v + O_o \quad (3.43)$$

Tab. 3.14 Vypočítané hodnoty

Vypočítané veličiny	Vypočítané hodnoty [mm]
O_v	208
O_o	2581,2
O_{s9}	2789,2

7. Obvod součásti č. 10

Hlavní rozměry součásti: strana $a = 1180$ mm, strana $b = 140,8$ mm, Podrobnější rozměry této součásti příloha č. 7

$$O_l = 2 \cdot a \quad (3.44)$$

$$O_{tr} = \sqrt{i^2 + j^2} \quad (3.45)$$

$$O_{s10} = O_l + O_{10} + 4 \cdot O_{tr} + 2 \cdot O_z \quad (3.46)$$

Kde i a j jsou strany pravoúhlého trojúhelníka.

Tab. 3.15 Vypočítané hodnoty

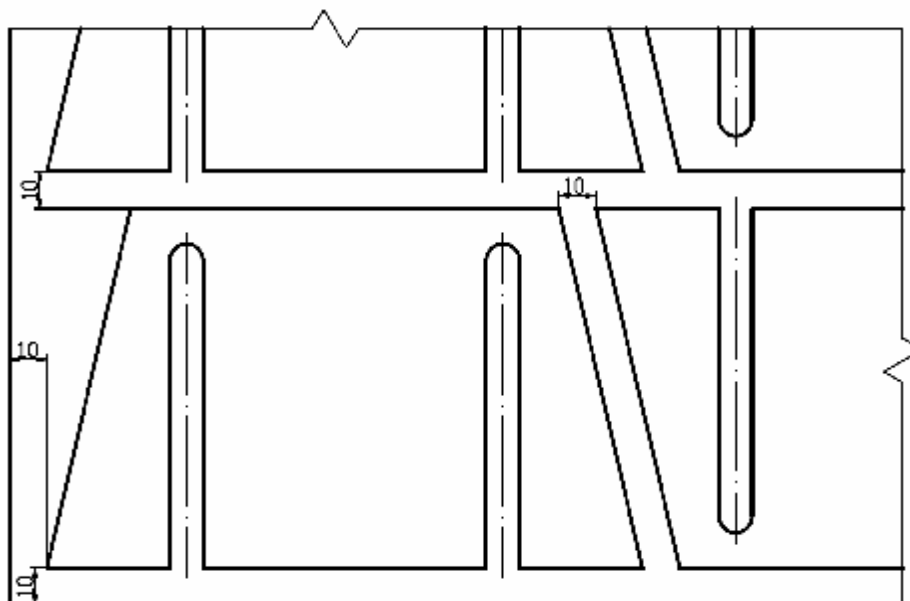
Vypočítané veličiny	Vypočítané hodnoty [mm]
O_l	2480
O_{tr}	42,43
O_{s10}	2811,32

3.4 Návrhy rozmístění součástí do formátu tabule plechu

Podle dlouholetých zkušeností firmy Technologické centrum se při návrhu rozmístění součástí budou používat okraje formátu a mezery mezi součástmi dle následujících kritérií: Do tloušťky plechu 10 mm je okraj i mezera 10 mm. U vyšších tloušťek je šířka mezery a velikost okraje rovna tloušťce plechu. Tato kritéria jsou doporučena z hlediska tepelného namáhání materiálu a následné deformace plechu či součástí.

3.4.1 Počet součástí č. 4 umístěných do formátu č. 1

Vnitřní rozměry po odečtení 10mm okraje zůstávají strana $a = 1980$ mm, strana $b = 980$ mm. Jako nejvhodnější styl rozmístění součástí do formátu se ukázalo rozmístění dle obrázku 3.1.

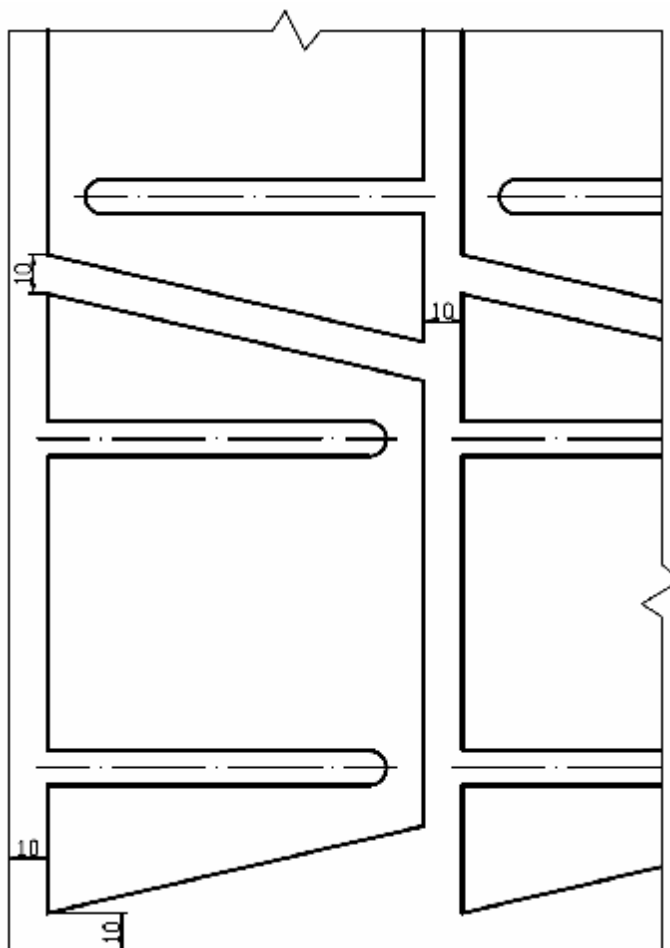


Obr. 3.1 Rozložení součástí č. 4 do formátu plechu č. 1 a 3

Při tomto rozmístění je možné součásti řadit podélně či příčně. V případě využití podélného uspořádání součástí na formát plechu je možné naskládat maximálně 117 ks součástek. V případě využití příčného uspořádání součástí na formát plechu je možné naskládat maximálně 108 ks součástek. Z toho vyplývá výhodnost podélného uspořádání.

3.4.2 Počet součástí č. 4 umístěných do formátu č. 2

Vnitřní rozměry po odečtení 10mm okraje zůstávají: strana $a = 2480$ mm, strana $b = 1230$ mm. Jako nejvhodnější styl skládání součástí do formátu se ukázalo příčné rozmístění součástí dle obrázku 3.2. Při tomto rozmístění se do formátu vejde max. počet součástí 184 ks. V případě využití podélného rozmístění se maximálně vejde do formátu 176 součástí.



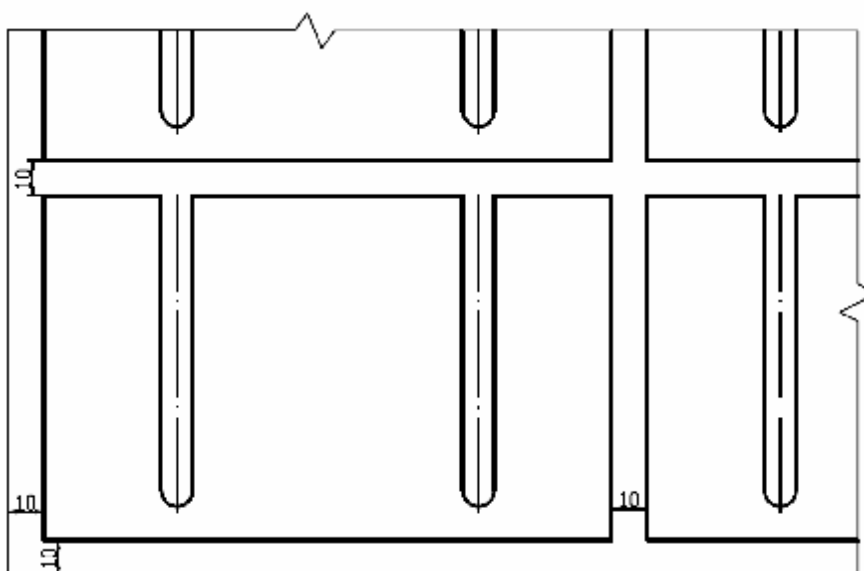
Obr. 3.2 Rozložení součástí č. 4 do formátu plechu č. 2

3.4.3 Počet součástí č. 4 umístěných do formátu č. 3

Vnitřní rozměry po odečtení 10mm okraje zůstávají: strana $a = 2980$ mm, strana $b = 1480$ mm. Jako nejvhodnější styl skládání součástí do formátu se ukázalo podélné rozmístění součástí dle obrázku 3.1. Při tomto rozmístění se do formátu vejde max. počet součástí 247 ks. V případě využití příčného rozmístění se maximálně vejde do formátu 243 součástí.

3.4.4 Počet součástí č. 5 umístěných do formátu č. 1

Vnitřní rozměry po odečtení 10mm okraje zůstávají: strana $a = 1980$ mm, strana $b = 980$ mm. Jako nejvhodnější styl skládání součástí do formátu se ukázalo podélné rozmístění součástí obr. 3.3. Při tomto rozmístění se do formátu vejde max. počet součástí 99 ks. V případě využití příčného rozmístění se vejde do formátu maximálně 90 součástí.



Obr. 3.3 Rozložení součástí č. 5 do formátu plechu

3.4.5 Počet součástí č. 5 umístěných do formátu č. 2

Vnitřní rozměry po odečtení 10mm okraje zůstávají: strana $a = 2480$ mm, strana $b = 1230$ mm. Jako nejvhodnější styl skládání součástí do formátu se ukázalo příčné rozmístění součástí. Při tomto rozmístění se do formátu vejde max. počet 161 ks součástí. V případě využití podélného rozmístění se maximálně vejde do formátu 154 součástí.

3.4.6 Počet součástí č. 5 umístěných do formátu č. 3

Vnitřní rozměry po odečtení 10mm okraje zůstávají: strana $a = 2980$ mm, strana $b = 1480$ mm. Jako nejvhodnější styl skládání součástí do formátu se ukázalo podélné rozmístění součástí. Při tomto rozmístění se do formátu vejde maximální počet 221 ks součástí. V případě využití příčného rozmístění se vejde do formátu maximálně 216 ks součástí.

3.4.7 Počet součástí č. 6 umístěných do formátu č. 1

Vnitřní rozměry po odečtení 10mm okraje zůstávají: strana $a = 1980$ mm, strana $b = 980$ mm. Jako nejvhodnější styl skládání součástí do formátu se ukázalo příčné rozmístění součástí. Při tomto rozmístění se do formátu vejde max. počet 85 ks součástí. V případě využití podélného rozmístění se vejde do formátu maximálně 80 ks součástí.

3.4.8 Počet součástí č. 6 umístěných do formátu č. 2

Vnitřní rozměry po odečtení 10mm okraje zůstávají: strana $a = 2480$ mm, strana $b = 1230$ mm. Jako nejvhodnější styl skládání součástí do formátu se ukázalo podélné rozmístění součástí. Při tomto rozmístění se do formátu vejde maximální počet 130 ks součástí. V případě využití příčného rozmístění se vejde do formátu maximálně 126 ks součástí.

3.4.9 Počet součástí č. 6 umístěných do formátu č. 3

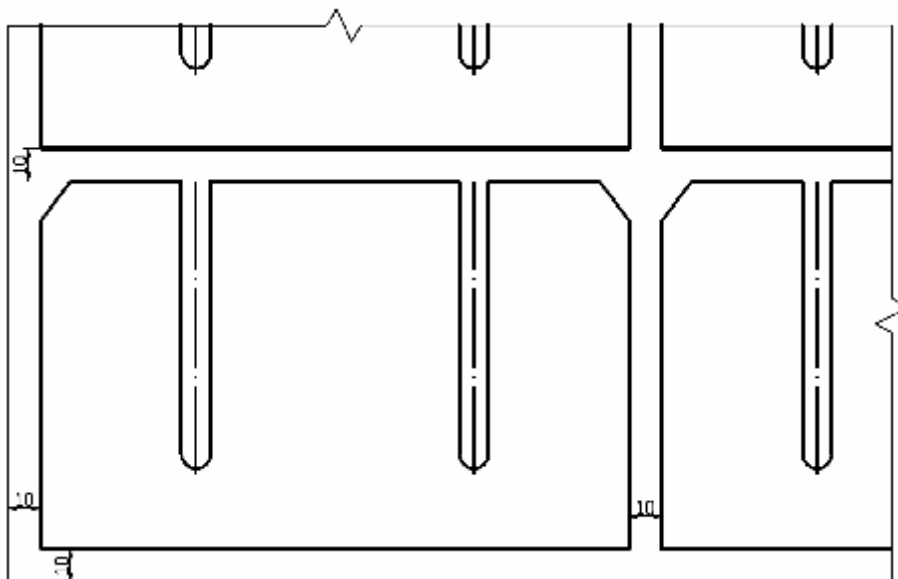
Vnitřní rozměry po odečtení 10mm okraje zůstávají: strana $a = 2980$ mm, strana $b = 1480$ mm. Jako nejvhodnější styl skládání součástí do formátu se ukázalo podélné rozmístění součástí. Při tomto rozmístění se do formátu vejde maximální počet 195 ks součástí. V případě využití příčného rozmístění se vejde do formátu maximálně 182 ks součástí.

3.4.10 Počet součástí č. 7 umístěných do formátu č. 1

Vnitřní rozměry po odečtení 10mm okraje zůstávají: strana $a = 1980$ mm, strana $b = 980$ mm. U tohoto formátu tabule plechu a této součásti není rozdíl v tom, zda součásti rozmístíme podélně či příčně. V obou případech dostaneme maximální počet součástí 80 ks.

3.4.11 Počet součástí č. 7 umístěných do formátu č. 2

Vnitřní rozměry po odečtení 10mm okraje zůstávají: strana $a = 2480$ mm, strana $b = 1230$ mm. Jako nejvhodnější styl skládání součástí do formátu se ukázalo podélné rozmístění součástí obr. 3.4. Při tomto rozmístění se do formátu vejde maximální počet 130 ks součástí. V případě využití příčného rozmístění se vejde do formátu maximálně 120 ks součástí.



Obr. 3.4 Rozložení součástí č. 7 do formátu plechu

3.4.12 Počet součástí č. 7 umístěných do formátu č. 3

Vnitřní rozměry po odečtení 10mm okraje zůstávají: strana $a = 2980$ mm, strana $b = 1480$ mm. Jako nejvhodnější styl skládání součástí do formátu se ukázalo podélné rozmístění součástí. Při tomto rozmístění se do formátu vejde maximální počet 180 ks součástí. V případě využití příčného rozmístění se vejde do formátu maximálně 168 ks součástí.

3.4.13 Počet součástí č. 8 umístěných do formátu č. 3

Vnitřní rozměry po odečtení 10mm okraje zůstávají: strana $a = 2980$ mm, strana $b = 1480$ mm. Pro danou součást vzhledem k jejím rozměrům je možné použít pouze formát č. 3. Při použití tohoto formátu je jediné možné uspořádání podélné. Maximální možný počet součástí do tohoto formátu je 13 ks.

3.4.14 Počet součástí č. 9 umístěných do formátu č. 2

Vzhledem k rozměrům této součásti neuvažujeme formátu č. 1.

Vnitřní rozměry po odečtení 10mm okraje zůstávají: strana $a = 2480$ mm, strana $b = 1230$ mm. Jako nejvhodnější styl skládání součástí do formátu se ukázalo příčné rozmístění součástí. Při tomto rozmístění se do formátu vejde maximální počet 17 ks součástí. V případě využití podélného rozmístění se vejde do formátu maximálně 16 ks součástí.

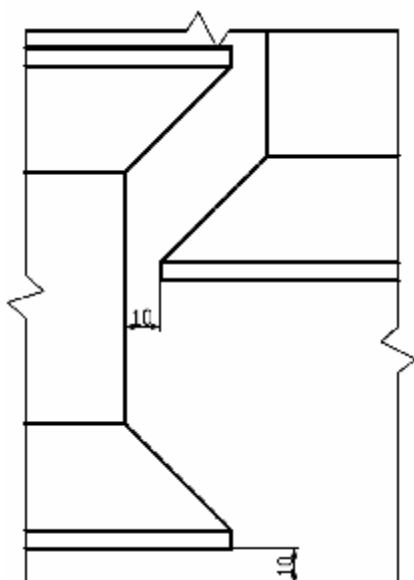
3.4.15 Počet součástí č. 9 umístěných do formátu č. 3

Vnitřní rozměry po odečtení 10mm okraje zůstávají: strana $a = 2980$ mm, strana $b = 1480$ mm. Rozmístění součástí v tomto formátu je možné příčným i podélným způsobem. U obou rozmístění vychází maximální počet součástí umístěných do formátu 20 ks.

3.4.16 Počet součástí č. 10 umístěných do formátu č. 2

Jako u předchozí součásti, tak i u této, je možné brát v úvahu pouze formát č. 2 a č. 3.

Vnitřní rozměry po odečtení 10mm okraje zůstávají: strana $a = 2480$ mm, strana $b = 1230$ mm. Při použití tohoto formátu je možné pouze podélné uspořádání, a to dvěma způsoby. První způsob umožňuje klasické podélné uspořádání s maximálním počtem 8 ks součástí. Druhý způsob je podélné uspořádání s dvěma součástkami za sebou v podélném směru o polovinu odsazené v příčném směru dle obrázku 3.5. Z toho je možné vypočítat maximální počet 15 kusů do formátu.



Obr. 3.5 Rozložení součástí č. 10 do formátu plechu

3.4.17 Počet součástí č. 10 umístěných do formátu č. 3

Vnitřní rozměry po odečtení 10mm okraje zůstávají: strana $a = 2980$ mm, strana $b = 1480$ mm. Jako nejvhodnější styl skládání součástí do formátu se ukázalo příčné rozmístění součástí. Při tomto rozmístění se do formátu vejde maximální počet 19 ks součástí. V případě využití podélného rozmístění se vejde do formátu maximálně 18 ks součástí.

Tab. 3.16 Rozdělení součástí do formátu tabule plechu

Rozvržení součásti	formát č. 1		formát č. 2		formát č. 3	
	podél	napříč	podél	napříč	podél	napříč
Součást č. 4	117	108	176	184	247	243
Součást č. 5	99	90	154	161	221	216
Součást č. 6	80	85	130	126	195	182
Součást č. 7	80	80	130	120	180	168
Součást č. 8					13	
Součást č. 9			16	17	20	20
Součást č. 10			8 (15)		18	19

3.5 Plocha zabraná součástkami ve formátu tabule plechu

Tuto plochu budeme dále počítat z výše vypočítaných hodnot. Kde n je maximální počet součástí, které je možné naskládat do tabule plechu a S_c je celkový obsah jednotlivých součástí.

$$S_{ij} = n \cdot S_c \quad (3.47)$$

Tab. 3.17 Vypočítané hodnoty

součást	S_{i1} pro formát č.1 [mm ²]	S_{i2} pro formát č. 2 [mm ²]	S_{i3} pro formát č.3 [mm ²]
Součást č.4	1378248,3	2167501,6	2909635,3
Součást č.5	1382277,6	2247946,4	3085690,4
Součást č.6	1449624	2217072	3325608
Součást č.7	1479552	2404272	3328992
Součást č.8			3381980,4
Součást č.9		2708236	3186160
Součást č.10		2528160	3202336

3.6 Procentuální využití tabulí plechu

Výpočet procentuálního využití tabule plechu vychází z hodnot obsahů jednotlivých formátů plechu a z ploch zabraných součástkami. Tyto jsou vypočteny v předchozích kapitolách.

$$Ps_{ij} = \frac{S_{ij}}{\frac{S_{ii}}{100}} \quad (3.48)$$

Tab. 3.18 Vypočítané hodnoty

součást	Ps_{i1} pro formát č.1 [%]	Ps_{i2} pro formát č. 2 [%]	Ps_{i3} pro formát č.3 [%]
Součást č.4	68,91	69,36	64,66
Součást č.5	69,11	71,93	68,57
Součást č.6	72,48	70,95	73,90
Součást č.7	73,98	76,94	73,98
Součást č.8			75,16
Součást č.9		86,66	70,80
Součást č.10		80,90	71,16

Pro přehlednost uvedeme procenta odpadu u jednotlivých součástí v závislosti na použitém formátu plechu.

$$Po_{ij} = 100 - Ps_{ij} \quad (3.49)$$

Tab. 3.19 Vypočítané hodnoty

součást	Po _{i1} pro formát č.1 [%]	Po _{i2} pro formát č. 2 [%]	Po _{i3} pro formát č.3 [%]
Součást č.4	31,09	30,64	35,34
Součást č.5	30,89	28,07	31,43
Součást č.6	27,52	29,05	26,10
Součást č.7	26,02	23,06	26,02
Součást č.8			24,84
Součást č.9		13,34	29,2
Součást č.10		19,1	28,84

3.7 Úspora materiálu při použití výhodnějšího formátu

Z výše uvedených poznatků je možné pomocí trojčlenky vypočítat, jak velká úspora materiálu vznikne za předpokladu použití výhodnějšího formátu tabule plechu oproti nejméně výhodnému.

3.7.1 Porovnání formátů č. 2 a č. 3 pro součást č. 4

Z předchozích výpočtů je patrné: maximální počet kusů ve formátu č.2 je 184 a maximální počet kusů ve formátu č. 3 je 247. Za použití trojčlenky zjistíme plochu plechu spotřebovanou při použití výhodnějšího formátu pro výrobu 247 ks součástí což je počet součástí rozmístěných na méně vhodný formát tabule plechu. Při odečtení vypočítané plochy od celkové plochy nevhodného formátu dostaneme plochu ušetřenou, což je 305 027,2 mm². Z následujícího vzorce lze vypočítat úsporu materiálu v kg.

$$m_4 = S_{u4} \cdot t_4 \cdot r_4 \quad (3.50)$$

Z čehož vychází: za použití formátu tabule plechu č. 2 oproti formátu č. 3 bude úspora materiálu 9,52 kg na 247 vyrobených součástích.

3.7.2 Porovnání formátů č. 2 a č. 3 pro součást č. 5

Z předchozích výpočtů je patrné: maximální počet kusů ve formátu č.2 je 161 a maximální počet kusů ve formátu č. 3 je 221. Za použití trojčlenky zjistíme plochu plechu spotřebovanou při použití výhodnějšího formátu pro výrobu 221 ks součástí což je počet součástí rozmístěných na méně vhodný formát tabule plechu. Při odečtení vypočítané plochy od celkové plochy nevhodného formátu dostaneme plochu ušetřenou což je 210403,72 mm². Z následujícího vzorce lze vypočítat úsporu materiálu v kg.

$$m_5 = S_{u5} \cdot t_5 \cdot r_5 \quad (3.51)$$

Z čehož vychází: za použití formátu tabule plechu č. 2 oproti formátu č. 3 bude úspora materiálu 6,56 kg na 221 vyrobených součástích.

3.7.3 Porovnání formátů č. 2 a č. 3 pro součást č. 6

Z předchozích výpočtů je patrné: maximální počet kusů ve formátu č.2 je 130 a maximální počet kusů ve formátu č. 3 je 195. Za použití trojčlenky zjistíme plochu plechu spotřebovanou při použití výhodnějšího formátu pro výrobu 195 ks součástí, což je počet součástí rozmístěných na méně vhodný formát tabule plechu. Při odečtení vypočítané plochy od celkové plochy nevhodného formátu dostaneme plochu ušetřenou, což je 187 500 mm². Z následujícího vzorce lze vypočítat úsporu materiálu v kg.

$$m_6 = S_{u6} \cdot t_6 \cdot r_6 \quad (3.52)$$

Z čehož vychází: za použití formátu tabule plechu č. 3 oproti formátu č. 2 bude úspora materiálu 5,85 kg na 195 vyrobených součástích.

3.7.4 Porovnání formátů č. 2 a č. 3 pro součást č. 7

Z předchozích výpočtů je patrné: maximální počet kusů ve formátu č.2 je 130 a maximální počet kusů ve formátu č. 3 je 180. Za použití trojčlenky zjistíme plochu plechu spotřebovanou při použití výhodnějšího formátu pro výrobu 180 ks součástí což je počet součástí rozmístěných na méně vhodný formát tabule plechu. Při odečtení vypočítané plochy od celkové plochy nevhodného formátu dostaneme plochu ušetřenou, což je 173 076,92 mm². Z následujícího vzorce lze vypočítat úsporu materiálu v kg.

$$m_7 = S_{u7} \cdot t_7 \cdot r_7 \quad (3.53)$$

Z čehož vychází: za použití formátu tabule plechu č. 2 oproti formátu č. 3 bude úspora materiálu 5,40 kg na 180 vyrobených součástích.

3.7.5 Porovnání formátů č. 2 a č. 3 pro součást č. 9

Z předchozích výpočtů je patrné: maximální počet kusů ve formátu č.2 je 17 a maximální počet kusů ve formátu č. 3 je 20. Za použití trojčlenky zjistíme plochu plechu spotřebovanou při použití výhodnějšího formátu pro výrobu 20 ks součástí, což je počet součástí rozmístěných na méně vhodný formát tabule plechu. Při odečtení vypočítané plochy od celkové plochy nevhodného formátu dostaneme plochu ušetřenou, což je 823 529,41 mm². Z následujícího vzorce lze vypočítat úsporu materiálu v kg.

$$m_9 = S_{u9} \cdot t_9 \cdot r_9 \quad (3.54)$$

Z čehož vychází: za použití formátu tabule plechu č. 2 oproti formátu č. 3 bude úspora materiálu 5,205 kg na 20 vyrobených součástích.

3.7.6 Porovnání formátů č. 2 a č. 3 pro součást č. 10

Z předchozích výpočtů je patrné: maximální počet kusů ve formátu č.2 je 14 a maximální počet kusů ve formátu č. 3 je 19. Za použití trojčlenky zjistíme plochu plechu spotřebovanou při použití výhodnějšího formátu pro

výrobu 19 ks součástí, což je počet součástí rozmístěných na méně vhodný formát tabule plechu. Při odečtení vypočítané plochy od celkové plochy nevhodného formátu dostaneme plochu ušetřenou, což je 541 666,67 mm². Z následujícího vzorce lze vypočítat úsporu materiálu v kg.

$$m_{10} = S_{u10} \cdot t_{10} \cdot r_{10} \quad (3.55)$$

Z čehož vychází: za použití formátu tabule plechu č. 2 oproti formátu č. 3 bude úspora materiálu 3,423 kg na 19 vyrobených součástí.

3.8 Úspora materiálu na výrobní dávku

Pro zjištění celkové úspory na výrobní dávku jednotlivých součástí je nutné znát celkový počet kusů jednotlivých součástí. U součástí č. 4, 5, 6, 7, 8 je výrobní dávka celé sestavy 560 Ks. Pro součásti č. 9, 10 je výrobní dávka sestavy 22 ks. V následující tabulce je uveden počet jednotlivých součástí v sestavách.

Tab. 3.20 Počet součástí v sestavě

součást	Kusů v sestavě	Celkem kusů na dávku
Součást č.4	6	3360
Součást č.5	2	1120
Součást č.6	4	2240
Součást č.7	2	1120
Součást č.8	2	1120
Součást č.9	17	374
Součást č.10	1	22

Za pomoci trojčlenky je možné zjistit, jaká vznikne úspora materiálu v kg za předpokladu výroby celé dávky a použití formátů plechu preferovaných v kapitole 3.7. Následující tabulka jednoznačně ukazuje tyto hodnoty.

Tab. 3.21 Úspora materiálu

Výrobní dávka součástí	Úspora materiálu [kg]
Dávka Součástí č. 4	129,5
Dávka Součástí č. 5	33,25
Dávka Součástí č. 6	67,2
Dávka Součástí č. 7	33,6
Dávka Součástí č. 9	97,33
Dávka Součástí č. 10	3,96

Tato tabulka nám ukazuje úsporu oceli třídy 11 375 a to o hmotnosti 263,55 kg a oceli 17 241 o hmotnosti 101,29 kg. Pokud bude tržní cena plechu třídy 11 375 průměrně 18 Kč/kg vychází cenová úspora na 4743,9 Kč. Pokud bude tržní cena za ocel 17 241 v průměru 80 Kč/kg vychází cenová úspora na 8103,2 Kč.

3.9 Dráhy nájezdů a výjezdů laserového paprsku

Dle dlouholetých zkušeností firmy Technologické centrum je vhodné se řídit těmito zásadami: pro plech do tloušťky 5 mm se volí dráha nájezdů 5 mm a dráha výjezdů 2,5 mm. Pro větší tloušťky je zásada: dráha nájezdu je rovna tloušťce plechu a dráha výjezdu je rovna polovině tloušťky plechu. Potom celkovou délku nájezdů a výjezdů je možné určit z následujícího vztahu kde n je počet součástí v daném formátu plechu, d_n délka nájezdu a d_v délka výjezdu.

$$h_i = n \cdot d_n + n \cdot d_v \quad (3.56)$$

Tab. 3.22 Nájezdy a výjezdy

	Dráhy nájezdů a výjezdů pro jednotlivé součásti [mm]	
	Formát tabule plechu č. 2	Formát tabule plechu č. 3
Součást č. 4	1380	
Součást č. 5	1207,5	
Součást č. 6		1462,5
Součást č. 7	975	
Součást č. 8		156
Součást č. 9	127,5	
Součást č. 10	112,5	

3.10 Celková dráha projetá při řezu jedné tabule plechu

Dle následujícího vztahu je potom možné určit celkovou dráhu řezu laserového paprsku. Kde n je celkový počet součástí ve formátu plechu, O_{si} je obvod součástí a h_i je součet drah nájezdů a výjezdů na daném formátu.

$$Dh_i = n \cdot O_{si} + h_i \quad (3.57)$$

Tab. 3.23 Dráha řezu

	Dráhy řezu pro jednotlivé součásti a formáty plechu [mm]	
	Formát tabule plechu č. 2	Formát tabule plechu č. 3
Součást č. 4	151 603,12	
Součást č. 5	139 066,97	
Součást č. 6		176 625,15
Součást č. 7	119 830,1	
Součást č. 8		76 479,65
Součást č. 9	47 543,9	
Součást č. 10	42 282,3	

3.11 Doba řezu jedné tabule plechu pro jednotlivé součásti

Při použití trojčlenky a řezných tabulek od výrobce stroje, lze stanovit dobu řezu jedné tabule plechu pro jednotlivé součásti. Pro ocel 11 375 a tloušťku plechu 4 mm, je řezná rychlost 3500 mm/ min. Pro tloušťku plechu 8 mm je řezná rychlost 1800 mm/min. Pro ocel 17 241 a tloušťku plechu 0,8 mm je řezná rychlost 10500 mm/ min. Samozřejmě, že tyto hodnoty jsou pouze orientační a skutečná řezná rychlost závisí na mnoha faktorech. Např.: požadovaná kvalita povrchu řezané hrany, složitost tvaru součástí, kvalita (opotřebení) čochky, kvalita řezaného materiálu, atd.

Tab. 3.24 Doba řezu

	Čistá doba řezu T_i jedné tabule plechu [min]	
	Formát tabule plechu č. 2	Formát tabule plechu č. 3
Součást č. 4	43,3	
Součást č. 5	39,7	
Součást č. 6		50,5
Součást č. 7	34,2	
Součást č. 8		42,5
Součást č. 9	4,5	
Součást č. 10	4,0	

3.12 Čistá doba řezu dávek jednotlivých součástí

Dle následujícího vztahu lze zjistit celkovou dobu potřebnou pro vyřízení všech kusů součásti v dané dávce. Tato doba je čistě teoretická a je nutné ji brát jako orientační. T_i je čistá doba řezu jedné tabule a k_{ij} je počet tabulí plechu na dávku.

$$T\check{c}_i = T_i \cdot k_{ij} \quad (3.58)$$

Tab. 3.25 Čistá doba řezu

	Čistá doba řezu $T\check{c}_i$ celé výrobní dávky [h]	
	Formát tabule plechu č. 2	Formát tabule plechu č. 3
Součást č. 4	13,18	
Součást č. 5	4,6	
Součást č. 6		9,67
Součást č. 7	4,91	
Součást č. 8		61,02
Součást č. 9	1,65	
Součást č. 10	0,097	

4 NÁVRH DISPOSICE LASEROVÉHO PRACOVIŠTĚ, PRACOVIŠTĚ OHRAŇOVACÍHO LISU, NÁVRH ŘEŠENÍ NAVAŽUJÍCÍHO SKLADOVÉHO PRACOVIŠTĚ.

4.1 Návrh dispozice laserového pracoviště

4.1.1 Parametry použité haly

Výrobní hala použitá pro instalaci laserové technologie je zděná, o vnitřních rozměrech 20 900 mm délka, 12 150 mm šířka a 4500 mm výška. Celková vnitřní plocha činí 253.9 m². Vstup do haly je tvořen dveřmi o šířce 1000 mm, výšce 2020 mm a sekčními vraty o šířce 4000 mm a výšce 4250 mm. Pro rychlou dopravu materiálu ze skladu jsou zde sekční vrata z haly do skladu materiálu o rozměrech 3500 mm na šířku a 3000 mm na výšku.



Obr. 4.1 Pohled na výrobní halu a část haly skladu

4.1.2 Parametry a popis laserového řezacího stroje

Laserové řezací centrum Orion od firmy LVD je tříosý laserový stroj určený pro řezání plochých tabulových formátů se třemi numericky řízenými osami X, Y, Z. Řezací hlava se pohybuje v ose Y v maximálním rozsahu 1555 mm. Plech je přidržován paralelně s osou X prostřednictvím tří automatických upínačů (max. tloušťka materiálu = 16 mm) v této ose je maximální rozjezd 3080 mm. Servem řízená osa Z má rozsah 290 mm a dovoluje tak řezací hlavě kopírovat nerovnosti páleného materiálu. Maximální hmotnost použitého plechu činí 575 kg. Maximální polohovací rychlost stroje pro osu X a Y je 100 m/min, pro osu Z 15 m/min.

Opakovatelná přesnost stroje +/- 0,02 mm. Rozměry stroje jsou: délka 7950 mm, šířka 3900 mm, výška 2200 mm.

Orion pracuje s generátorem GE–Fanuc vysokofrekvenčně buzeným CO₂ laserem. Laserový zdroj pracuje v D módu, což je ideální pro řezání různých materiálů. Tato zvláštní vlastnost dovoluje v kombinaci s pulsy výrobu předmětů s velkou přesností.

Tento stroj je vybaven laserovým zdrojem 2,5 kW. Zástavbová plocha stroje činí 35 m² a díky své konstrukci není potřebný zvláštní základ.

Odsávání umístěné pod stolem odvádí kouřové plyny a drobné částice řezaného materiálu do lamelového filtru. Chlazení s nuceným oběhem vody pro laser a optickou cestu je dodáváno se strojem. Teplo je přes kanál odváděno ze stroje buď na vytápění haly, či do okolního prostředí.

Fokusační čočky je možné bezproblémově měnit s pomocí speciálního středícího přípravku. Přímo čitelná poloha ohniska nesmírně usnadňuje jeho regulaci. Optická cesta má jen tři zrcadla a je stoprocentně odstíněna. Polohování stolu a řezací hlavy zabezpečuje ozubený převod.

Řezací hlava je vybavena pro 5“ a 7,5“ čočky a standardně upravená pro vysokotlaké řezání. Řezací hlava je vybavena kapacitním čidlem pro bezkontaktní snímání vzdálenosti mezi hlavou a plechem a s jeho pomocí je tato vzdálenost stále stejná po celou dobu řezání. V ose Z kopíruje nerovnosti řezaného materiálu či sleduje nastavování polohy a výšky v absolutní programované hodnotě. (5)

4.1.3 Možnosti situování laserového pracoviště

Půdorys použité haly pro tuto technologii vzhledem k technologickému uspořádání nedává příliš možností pro umístění laserového pracoviště. V podstatě se jedná o dvě možnosti. A to napříč a podél výrobní haly. Obě jsou umístěny v její pravé části. I přesto v konečné fázi rozdíl vedlejších časů může být znatelný. V obou variantách vede v přední části haly dopravní cesta na obrázku šrafovaná čárkovaně.

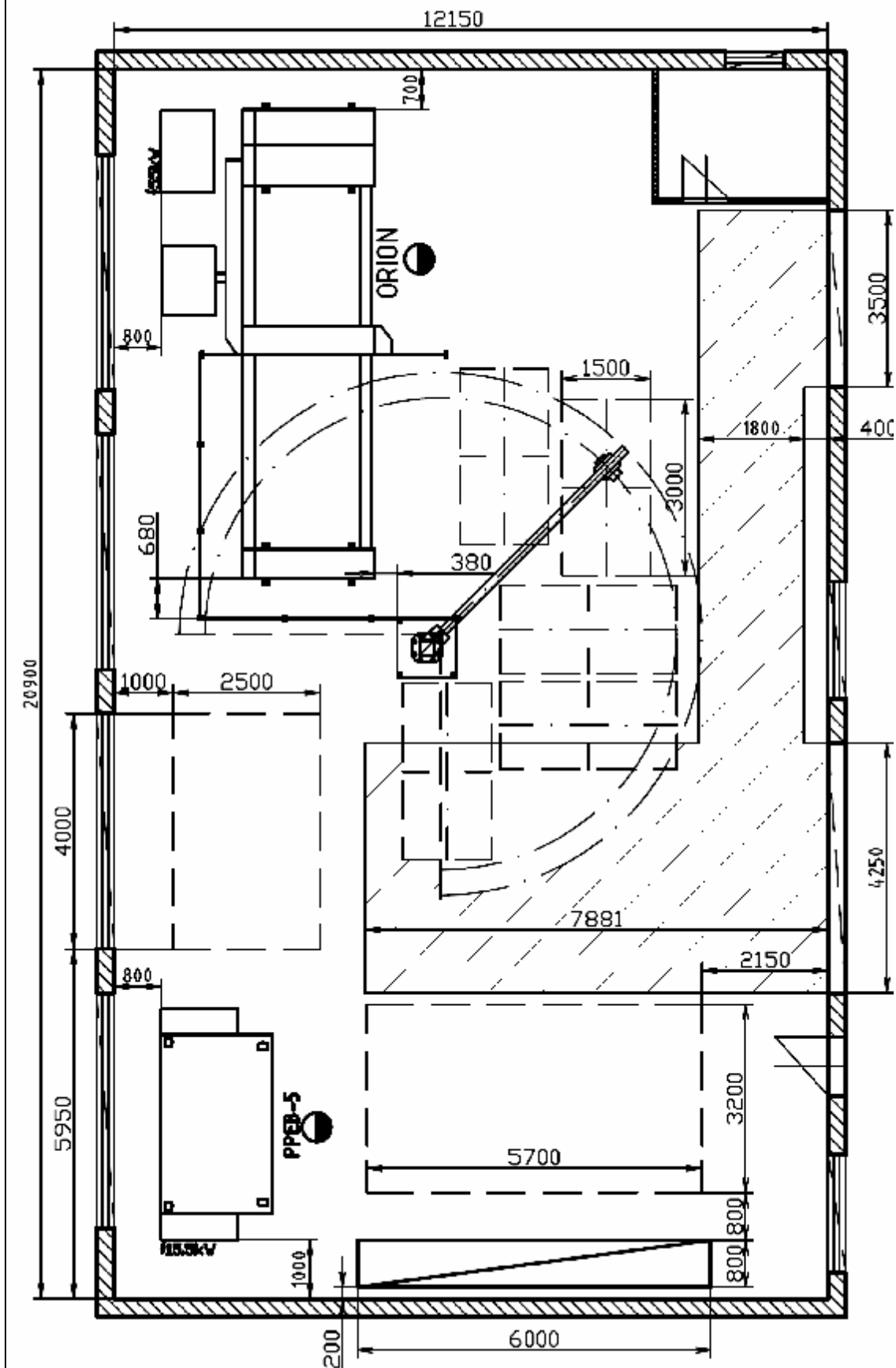
1. Situování laserového pracoviště podél haly

Takto situované pracoviště je umístěno v pravém zadním rohu haly dle obrázku č. 4.2. Toto situování je výhodné z hlediska možnosti využití zbylého prostoru v hale. Jednoznačné umístění laseru Orion v rohu haly nám zachovává volný prostor před laserem, který je převážně využíván pro naskladňování plechů pro následující pálení. Také zde probíhá vyskladnění výpalků z laseru. Zbylý prostor je možné v budoucnu využít pro jinou výrobu či uložení součástí určených k další výrobě. Toto situování je také výhodné z důvodu ochrany stroje při manipulaci. Stroj umístěný dál od dopravní cesty není ohrožen neopatrnou manipulací s vysokozdvíhacím vozíkem. Další výhodou, nakládání materiálu a vykládání výpalků probíhá z jednoho místa. Obsluha nemusí obcházet stroj. Mezi nevýhody tohoto situování lze řadit: Připravený materiál na pálení a součásti vyskladněné ze stroje včetně odpadu se pohybují přibližně ve stejném prostoru, tudíž dochází k nahromadění více materiálu v několika formách na jednom místě, kdy

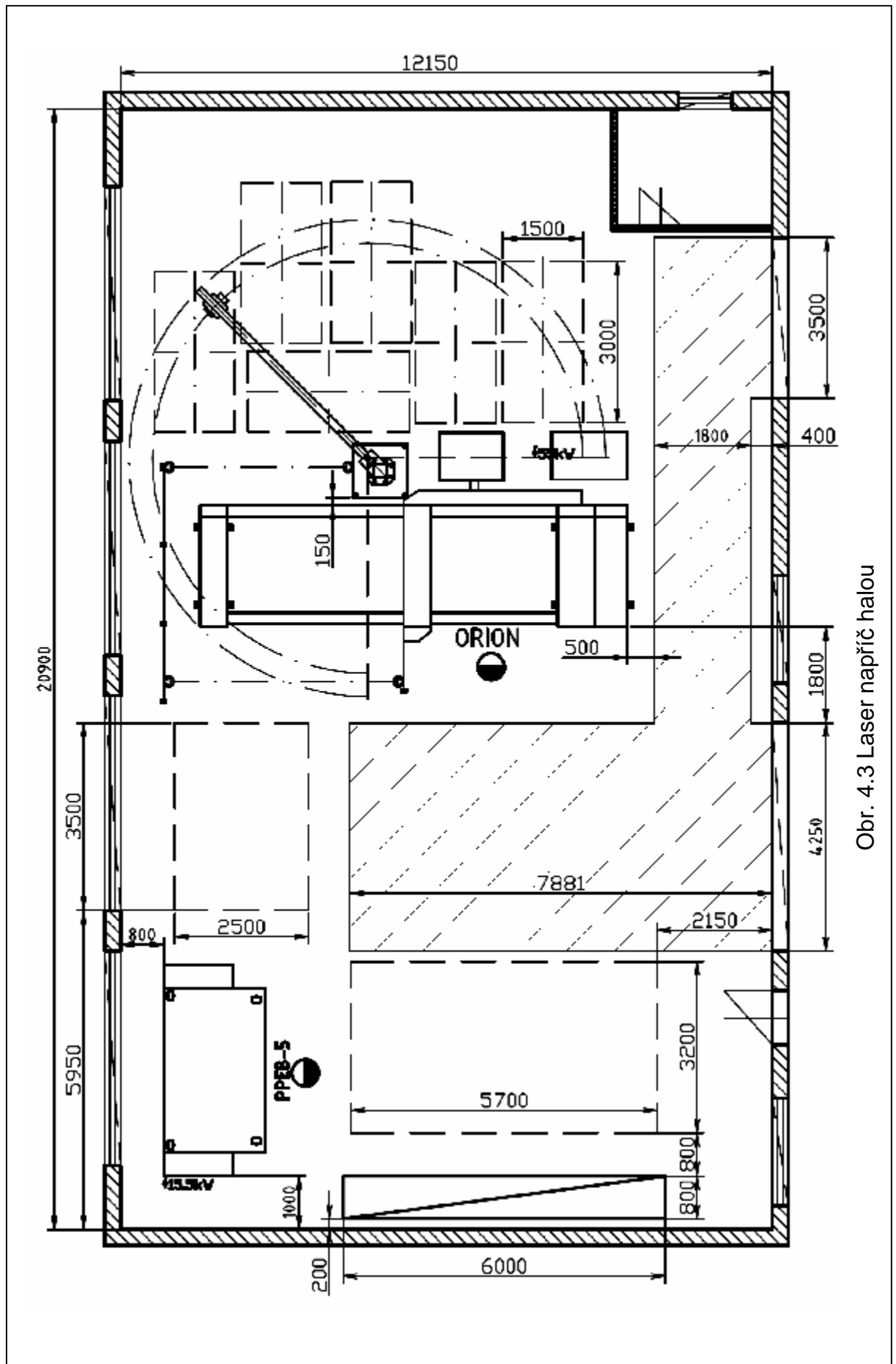
může docházet k nárůstu vedlejších časů. Přístup ke stroji je omezen dvěma stěnami v zadní a boční části stroje. Při plném naskladnění materiálu pod otočný jeřáb vznikne zúžený prostor pro průjezd vysokozdvížného vozíku od skladu materiálu do prostoru ohraňovacího lisu. Pokud by se nemělo zasahovat do dopravní cesty, nelze naskladnit víc jak tři stohy plechů. Navíc je zde nutné nechat jedno pole volné pro vyskladnění vypálených součástí.

2. Situování laserového pracoviště napříč halou

Takto situované pracoviště je umístěno v pravé části haly blíže ke středu této haly dle obrázku č. 4.3. Z tohoto obrázku je patrné pomyslné rozdělení této haly na dvě části. V jedné části, za strojem blíže skladu materiálu, vznikl prostor vhodný pro přípravu materiálu. Zde je možné přichystat několik druhů materiálu či formátů plechu, maximálně však 6 stohů, třeba i na více dnů dopředu. Může se zaplnit celý prostor a nemusí se počítat s místem potřebným při vykládání součástí a odpadu ze stroje. Při nakládání tabule plechu se otočný jeřáb pohybuje z prostoru za strojem, kde je uložený plech, nad stroj. V této pozici se jeřáb ponechá do vypálení celé tabule a potom se součásti a odpad pomocí tohoto otočného ramene vyskladní před stroj. Při následném nakládání musí dělník jít za stroj. Nevýhoda: dělník musí obcházet stroj z důvodu naložení a vyložení materiálu. Před strojem vznikl prostor vhodný pro vykládání vypálených součástí a odpadového materiálu o rozměrech 3500 x 2500 mm. Oproti předchozí variantě zde není nutné tak často odvážet odpad a hotové součásti.



Obr. 4.2 Laser podél haly



Obr. 4.3 Laser napříč halou

Při realizaci tohoto pracoviště je voleno situování podél haly dle obr. 4.4. Toto je voleno z důvodu získání určitého volného prostoru s možností pozdějšího využití. Ovšem je zřejmé výhodnější situování napříč halou z důvodu systematického uspořádání pracoviště a tím pravděpodobně kratší vedlejší časy této výroby.



Obr. 4.4 Realizace laserového pracoviště

4.2 Pracoviště ohraňovacího lisu

4.2.1 Parametry použité haly

Pracoviště ohraňovacího lisu je umístěno ve stejné hale jako laserové pracoviště. Tudíž vnitřní rozměry jsou totožné.

4.2.2 Parametry a popis ohraňovacího lisu

Ohraňovací lis PPEB – 5 135/ 3150 disponuje základními rozměry o šířce 3925 mm, výšce 2865 mm a hloubce ve výšce stolu 2525 mm. Hloubka v základně 1735 mm. Pracovní rozměry stroje jsou následující: šířka v rámu stroje 3150 mm, celková pracovní délka 4000 mm, vzdálenost nástroje od rámu stroje 400 mm tzv. C stojan. Lisovací síla 1350 kN. Energetická náročnost 15 kW.

4.2.3 Technologické uspořádání ohraňovacího lisu

Vzhledem k dobrému technologickému uspořádání nového výrobního celku je voleno uspořádání podle obr. 4.2. Toto uspořádání je obzvláště vhodné z důvodu plynulé manipulace s materiálem a hotovými výrobky. To může významně zkrátit vedlejší časy. Materiál přechází ze skladu k laseru. Po vypálení, součástí u kterých je předepsán ohyb, pokračují na přípravné místo u ohraňovacího lisu. Po provedení ohybu se hotové součásti přepravují do skladu výrobků, jenž je totožný se skladem materiálu případně do svařovny, která je v jiné budově.

4.2.4 Popis pracoviště

Pracoviště ohraňovacího lisu PPEB-5 je voleno podélně v levém zadním rohu haly dle obr. 4.5. Odkládací prostor je volen před lisem o velikosti 5700 x 3200 mm. Sem se bez problému vlezou součásti zhotovené z celé délky formátu plechu č. 3. Podél levé stěny je umístěn regál na nástroje k tomuto lisu. Jeho rozměry jsou: délka 6000 mm, hloubka 800 mm a výška 2500 mm. Systém členění nástrojů v regálu bude: do spodních polic se budou ukládat nástroje nejmenších rozměrů a do horních polic nástroje velkých rozměrů. Toto je voleno z důvodu hmotnosti velkých nástrojů se kterými se stejně musí manipulovat pomocí vysokozdvizného vozíku.



Obr. 4.5 Realizace pracoviště ohraňovacího lisu

4.3 Návrh řešení navazujícího skladového pracoviště

4.3.1 Parametry použité haly

Hala určená k umístění skladového hospodářství není nově postavená jako hala na laserovou technologii. Obě tyto haly jsou v půdorysném provedení do L spojeny k sobě. Vnitřní rozměry haly jsou: délka 21 000 mm, šířka 7500 mm a výška 4000 mm. Do haly vedou jedny vrata ze dvora o rozměrech 3000 mm x 3000 mm a jedny sekční vrata z haly laserového pracoviště o rozměrech 3500 mm na šířku a 3000 mm na výšku. To umožňuje plynulý tok materiálu ze dvora (naskladňování) přes sklad do haly laserového pracoviště

4.3.2 Tok materiálu

Dopravený materiál do firmy se na dvorku u haly skladového hospodářství vyloží. Převeze se do skladu materiálu vysokozdvížným vozíkem a zde se uloží do regálů či do stohu. Odsud se materiál převáží vysokozdvížným vozíkem do výrobní haly na určené místo k laseru. Zde je možné vyskládat až pět stohů různého materiálu dle požadavků výroby. Z jednotlivých stohů se materiál podává na pracovní stůl stroje pomocí Otočného sloupového jeřábu DEMAG D - AS 270, na němž je uchycen přísavný rám s vakuovou pumpou PR – 8P – 1250 od firmy TRIOM s.r.o. Po vypálení daných součástí se formát vyloží ze stroje. Odpad se po určité době odváží ven před halu. Součásti, které neprochází dalšími technologiemi, jako např. ohraňovací lis atd., se skládají na palety či do beden a odváží se do skladu na připravené místo, odtud putují do obrobny či svařovny. Zatím co součásti určené k tvarové úpravě na ohraňovacím lisu se převezou na přípravnou plochu u ohraňovacího lisu. Tyto součásti putují po zpracování taktéž do skladu na určené místo. Převážná většina této manipulace je pomocí vysokozdvížného vozíku, případně pomocí nízkozdvížného ručního vozíku.

4.3.3 Pojistná zásoba materiálu ve skladu

Sklad materiálu se dělí na dva celky: Pojistná zásoba materiálu a materiál pro konkrétní výrobu. Pojistná zásoba slouží k rychlé reakci firmy na požadavky zákazníka a případnou potřebu firmy. Je tvořena plechy o formátu 1500 mm x 3000 mm. Tento materiál se ukládá do jednostranných konzolových regálů. Materiál pro konkrétní výrobu je určen na zakázky o větším objemu a dostatečně dopředu známé. Tento materiál je ukládán převážně ve stozích na určeném místě.

Dle požadavků firmy Miroslavské strojíny je určena teoretická pojistná zásoba materiálu následující: 20 000 kg oceli 11 375 a 30 000 kg oceli 17 241.

Tab. 4.1 Procentuální rozdělení materiálu

Tloušťka plechu [mm]	Zastoupení tlouštěk plechu [%] ([kg])	
	ocel 11 375	ocel 17 241
0,8		4 (1200)
1	5 (1000)	6 (1800)
1,5		10 (3000)
2	5 (1000)	20 (6000)
3	15 (3000)	20 (6000)
4	15 (3000)	20 (6000)
5	20 (4000)	20 (6000)
6	15 (3000)	
8	10 (2000)	
10	5 (1000)	
12	5 (1000)	
15	5 (1000)	

Z následujícího vztahu je možné vypočítat hmotnosti formátů plechu jednotlivých tlouštěk. Hustota oceli 11 375 je 7800 kg/ m³ a hustota oceli 17 241 je 7900 kg/ m³.

$$m_i = S_{i3} \cdot t_i \cdot r \quad (4.1)$$

Tab. 4.2 Hmotnosti plechu

Tloušťka plechu [mm]	Hmotnosti jednotlivých tlouštěk plechu [kg]	
	ocel 11 375	ocel 17 241
0,8		28,44
1	35,1	35,55
1,5		53,33
2	70,2	71,1
3	105,3	106,65
4	140,4	142,2
5	175,5	177,75
6	210,6	
8	280,8	
10	351	
12	421,2	
15	526,5	

Z hmotnostního zastoupení jednotlivých tlouštěk plechu je možné vypočítat teoretický počet tabulí plechu jednotlivých tlouštěk plechů. A to podělením hmotnostního zastoupení hmotností tabule jednotlivých tlouštěk.

Tab. 4.3 Počty tabulí

Tloušťka plechu [mm]	Teoretický (skutečný) počet tabulí jednotlivých tlouštěk plechu [ks]	
	ocel 11 375	ocel 17 241
0,8		42,2 (42)
1	28,5 (28)	50,6 (50)
1,5		56,3 (56)
2	14,3 (14)	84,4 (85)
3	28,5 (28)	56,3 (56)
4	21,4 (21)	42,2 (42)
5	22,8 (22)	33,8 (34)
6	14,3 (14)	
8	7,1 (7)	
10	2,8 (3)	
12	2,4 (3)	
15	1,9 (2)	

Ze skutečného počtu tabulí je možné vypočítat hmotnost skutečné pojistné zásoby ve skladu materiálu.

Tab. 4.4 Zastoupení tlouštěk plechů

Tloušťka plechu [mm]	Skutečné zastoupení tlouštěk plechu [kg]	
	ocel 11 375	ocel 17 241
0,8		1194,5
1	982,8	1777,5
1,5		2986,5
2	982,8	6043,5
3	2948,4	5972,4
4	2948,4	5972,4
5	3861	6043,5
6	2948,4	
8	1965,6	
10	1053	
12	1263	
15	1053	

Potom celková pojistná zásoba ve skladu materiálu činí 29 990,3 kg oceli 17 241 a 20 007 kg oceli 11 375.

Tento materiál se bude ukládat do konzolových jednostranných regálů o nosnosti jedné konzoly 630 kg. Výška regálu je 3000 mm. Nosnost sloupu je 3800 kg. Počet konzol na sloup je 6 ks. Na délku tabule, což je 3000 mm, je volen počet 3 ks sloupů. Z těchto údajů vyplývá nosnost jednoho patra regálu 1890 kg. (3)

Z výše uvedených hodnot je možné určit potřebný počet úložných pater, a tím i počet regálů pro pojistnou zásobu materiálu.

Tab. 4.5 Skutečné zastoupení tloušťek plechu

Tloušťka plechu [mm]	Skutečné zastoupení tloušťek plechu [kg] (Potřebný počet úložných pater [ks])	
	ocel 11 375	ocel 17 241
0,8		1194,5 (1)
1	982,8 (1)	1777,5 (1)
1,5		2986,5 (2)
2	982,8 (1)	6043,5 (4)
3	2948,4 (2)	5972,4 (4)
4	2948,4 (2)	5972,4 (4)
5	3861 (3)	6043,5 (4)
6	2948,4 (2)	
8	1965,6 (2)	
10	1053 (1)	
12	1263 (1)	
15	1053 (1)	
Σ	(16)	(20)
Počet regálů	3	4

4.3.4 Materiál pro konkrétní výrobu

Tento materiál je určený pro výrobu součástí zmiňovaných v kapitole Technologičnost konstrukce součástek, a to součást číslo 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10. Z hodnot v této kapitole je možné vypočítat teoretický počet tabulí plechu na celou výrobní dávku a po zaokrouhlení na celé vyšší číslo také skutečný počet. Což je udáno v následující tabulce. Z této tabulky lze dojít k závěrečnému počtu tabulí plechu pro celou výrobu. Pro součást č. 4, 5, 7, je materiál ocel 11 375 o tloušťce 4 mm a použitý formát č. 2. Celkový počet tabulí 35 ks. Pro součást č. 6 je stejný materiál i tloušťka plechu, ale formát č. 3. Potřebný počet tabulí 18 ks. Součást č. 8 je ocel 11 375 a tloušťka 8mm formát plechu č. 3. Celkový počet tabulí činí 87 ks. Součást č. 9, 10 je z oceli 17 241 tloušťky 0,8 mm, formát plechu č. 2. Celkový počet tabulí je 24 ks.

Tab. 4.6 Výsledný počet tabulí plechu

Součást	Počet tabulí formátu č.1	Počet tabulí formátu č. 2	Počet tabulí formátu č.3
Součást č.4	28,72 =>29	18,26 =>19	13,6 =>14
Součást č.5	11,31 => 12	6,96 => 7	5,06 => 6
Součást č.6	26,35 => 27	17,23 => 18	11,49 => 12
Součást č.7	14	8,62 => 9	6,22 => 7
Součást č.8			86,15 => 87
Součást č.9		22	18,7 => 19
Součást č.10		1,46 => 2	1,16 => 2

Z výše uvedených údajů a předpokladu nosnosti vysokozdvížného vozíku 3000 kg lze spočítat počet svazků a stohů jednotlivých druhů a formátů plechu. Jako omezující parametr se ještě bere maximální výška svazku. Ta by neměla překročit 300 mm. V následující tabulce jsou uvedeny hmotnosti použitých tabulí plechu.

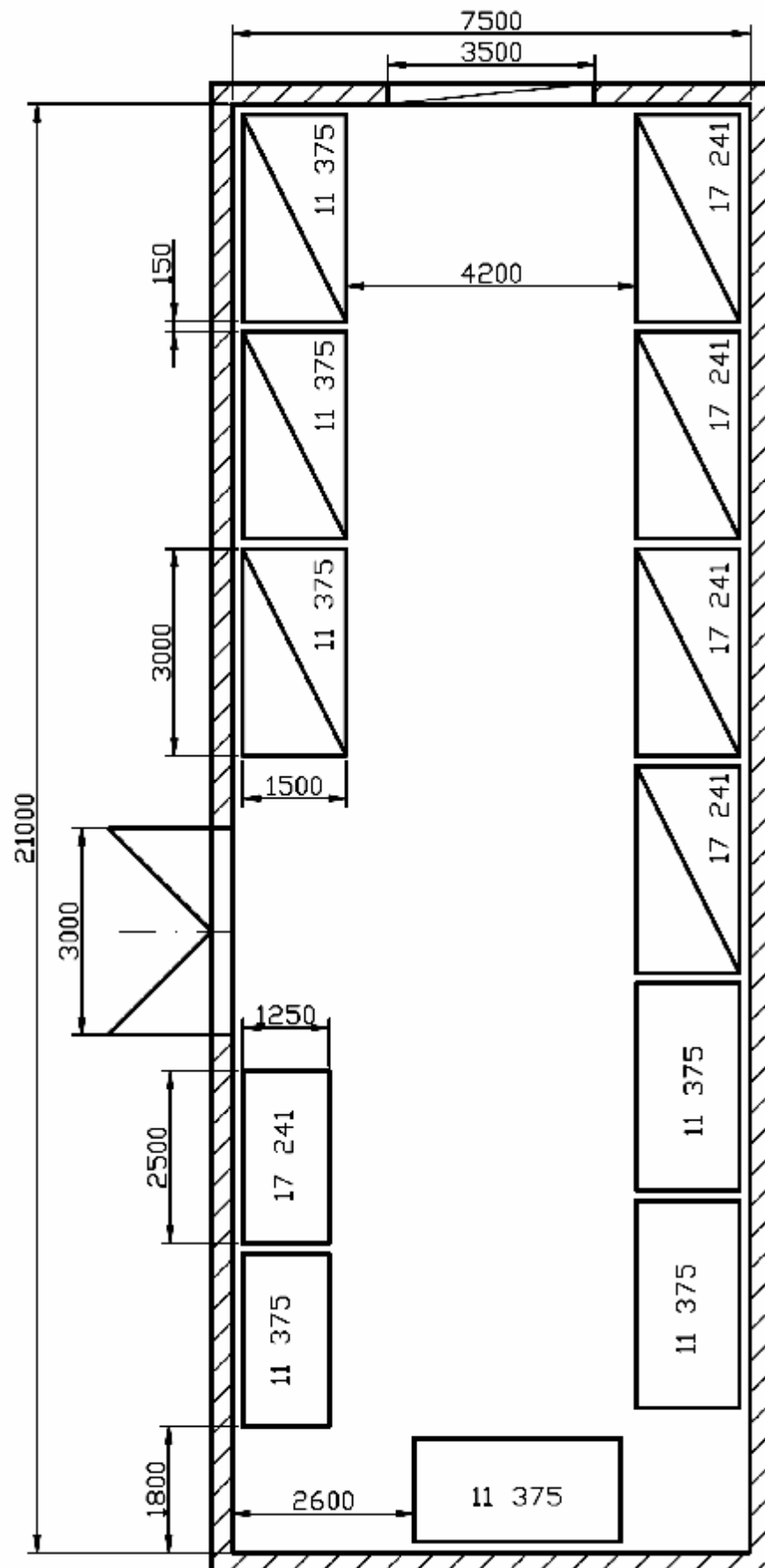
Tab. 4.7 Hmotnosti formátů plechu

Tloušťka [mm] (materiál)	Hmotnost formátu č.1 [kg]	Hmotnost formátu č. 2 [kg]	Hmotnost formátu č.3 [kg]
0.8 (INOX)		19,75	
4 (11 375)		97,5	140,4
8 (11 375)			280,8

Tab. 4.8 Počet svazků plechu

Tloušťka [mm] (materiál)	Počet svazků formátu č.1 [ks] (hmotnost svazku)	Počet svazků formátu č.2 [ks] (hmotnost svazku)	Počet svazků formátu č.3 [ks] (hmotnost svazku)
0.8 (17 241)		1 (474 kg)	
4 (11 375)		2 (1706,3 kg)	1 (2527,2 kg)
8 (11 375)			9 (2714,4 kg)

Z toho plyne počet stohů oceli 17 241 tloušťka 0,8 mm a formát č. 1 - 1ks, oceli 11375 tloušťka 4 mm a formát č. 2 - jeden stoh, formát č. 3 - taktéž jeden stoh a tloušťka 8 mm, formát č. 3 - dva stohy.



Obr. 4.6 Sklad materiálu

5 PROVOZNÍ NÁROČNOST LASEROVÉ TECHNOLOGIE

Provoz laserového řezacího stroje nese s sebou další výdaje ve formě spotřebního materiálu. Mezi hlavní spotřební materiál můžeme řadit:

- spotřeba laserového plynu
- spotřeba řezného plynu
- výměna poškozené trysky
- výměna poškozené čočky
- výměna podpěrných lamel ve stole
- výměna zrcadel
- výměna filtrů

Z provozu stroje je možné zjistit množství spotřebovaného materiálu za časovou jednotku. Spotřeba laserového plynu je přibližně 57 kg na 670 hodin provozu stroje. Spotřeba řezného plynu se bude lišit dle druhu řezaného materiálu, dle tloušťky materiálu avšak v průměru se dá předpokládat spotřeba kyslíku 684 kg na 100 hodin provozu. Výměna lamel stolu bude různá dle pálených dílců, a to především podle jejich velikosti a členitosti. Další kritérium výměny lamel vychází z požadavků přesnosti upnutí páleného plechu a velikosti následně vyráběných dílů. V průměru se dá uvažovat o výměně těchto lamel po 800 až 1200 hodinách provozu.

V následujících tabulkách je přehled nutných úkonů pro spolehlivý provoz stroje.

Tab. 5.1 Denní údržba (5)

Každý den	Stroj	Kontrola a čištění trysky
		Kontrola a čištění vnějšku řezací hlavy
		Kontrola a čištění zaostřovací čočky
		Kontrola tlaku řezacích plynů
		Kontrola a vyprázdnění odpadové jímky (odsávací jednotka)
	Laserový vysílač	Kontrola primárního tlaku laserového plynu

Tab. 5.2 Týdenní údržba (5)

Každý týden	Stroj	Kontrola úniku oleje (mechanický pohon)
		Kontrola vodních spojů na zrcadlech
		Kontrola hladiny vody chladicí jednotky
		Kontrola tlaku čerpadla chladicí jednotky
		Celková kontrola (odsávací jednotka)
	Laserový vysílač	Laserový vysílač Kontrola hladiny oleje turbodmychadla
		Kontrola hladiny oleje vakuové vývěvy
		Kontrola úniku z vakuové vývěvy
		Kontrola úniku z turbodmychadla
		Kontrola základních parametrů výboje

Tab. 5.3 Čtrnáctidenní údržba (5)

Každé 2 týdny	Stroj	Kontrola připevnění manžet
		Mazání tukem posuvných ramp stolu upínacího zařízení

Tab. 5.4 Údržba po 1000h provozu (5)

Každých 1000 h	Stroj	Čištění optiky optické dráhy
		Kontrola systému kapacitního snímání (nebo každé 2 týdny)
		Čištění vnitřku řezací hlavy
		Mazání tukem indikovaných pohyblivých částí
		Kontrola/výměna zásobníku SKF (či každých 6 měsíců)
		Kontrola jakosti vody (či každých 6 měsíců)
		Kontrola vodního okruhu (či každých 6 měsíců)
		Kontrola vnějšího filtru chladicí jednotky (či každých 6 měsíců)
		Kontrola filtračních vložek (odsávací jednotka)
		Kontrola řezacího stolu
		Kontrola odsávacího stolu
	Laserový vysílač	Výměna oleje turbodmychadla
		Čištění fázového zpoždovače (pouze C4000E)
		Čištění zrcadla s nulovým posuvem (pouze C2000E & C4000E)

Tab. 5.5 Údržba po 2000h provozu (5)

Každých 2000 h	Stroj	Vyměňte zpětné ventily
		Vyčištění kondenzátoru chladicí jednotky (nebo každých 6 měsíců)
		Vyměňte vodu a přísady (nebo každých 6 měsíců)
		Vyčistěte manžety na optické dráze (nebo každých 6 měsíců)
	Laserový vysílač	Vyměňte olej ve vakuové vývěvě (nebo každých 6 měsíců)
		Vyčistěte okruh vody

6 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Z ekonomického hlediska je realizace celého projektu závislá na rentabilitosti a konkurenceschopnosti. Rentabilitnost se odvíjí od vytížení stroje. Konkurenceschopnost je potom závislá na ceně jedné hodiny práce a na rychlosti vyhotovení zakázky. Některé ovlivňující faktory jsou zachyceny v následujících tabulkách.

První tabulka zachycuje výpočet ceny stroje na jednu hodinu práce laseru v případě, že by stroj pracoval denně pouze jednu směnu. Výrobní čas za rok by byl 2200 hodin a délka odpisového období 5 roků. Také jsou zde zachyceny náklady na plochu haly a náklady na údržbu stroje. Toto vše je zahrnuto do tzv. fixních nákladů, které jsou závislé na směnnosti stroje či celkovém počtu hodin za rok. Dále jsou tzv. variabilní náklady, které zahrnují energie ke stroji, spotřební díly a spotřebu plynů. Cena spotřebních dílů za hodinu se odvíjí od celkové spotřeby rezných plynů, hodnoty spotřebních dílů celkem a celkového součtu použitých energií. A potom cena stroje v Kč/h je ovlivněna cenou spotřebních dílů za hodinu a celkovými fixními náklady.

Tab. 6.1 Výpočet ceny stroje na hodinu práce v jedné směně (11)

Typ stroje	ORION	3015		
Laserový výkon	2500	Watt		
navrhovaný výrobní čas	2200	hod./rok	směn	1

Fixní náklady				
odpis hodnoty (investic)	start cena Kč	doba odpisu roků	odpisy Kč/rok	odpisy Kč/hod.
kalkulace odpisu	8 019 258	5	1 603 852	729
úroky	start cena Kč	úrok. sazba %	úrok Kč/rok	úrok Kč/hod.
kalkulace úroku	8 019 258	6,00%	24 0577,7	109,5
cena plochy (pronájem)	plocha m ²	cena plochy Kč/m ²	cena plochy Kč/rok	cena plochy Kč/hod.
kalkulace na plochu v hale	33,6	1547	51 979,2	23,7
Údržba	díly Kč/hod	hodina práce Kč/hod		údržba Kč/hod
kalkulace údržby stroje	47,3	29,9		77,2
Fixní náklady - celkem				939,4

Variabilní náklady						
Energie		kW	Kč/ kWh	Kč/hod	Kč/hod	
Laser (max. tlak)		21,4	4,2	89		
Chlazení		9,3	4,2	38,7		
Stroj		5,8	4,2	24,2		
Odsávání		3,3	4,2	13,8		
Energie (80%) - celkem					132,6	
Spotřební díly		hod.interval	Kč	Kč/hod	Kč/hod	
Zrcadla ve stroji		6000	26 026	4,4		
Čočky		1000	11 310	11,4		
Trysky		50	273	5,5		
Spotřební díly - celkem					21,3	
Spotřeby plynu		m ³ /hod	Kč/m ³	Kč/hod		
Stlačený vzduch		30	0,13	3,9		
Laserový plyn (N2/ He/ CO2)		0,01	164,3	1,6		
Materiál		RST 37-2 2mm	RST 37-2 8mm	X5 CrNi 2mm	X5 CrNi 4mm	AlMg3 2mm
Řezný plyn -O2 (kyslík)	m ³ /hod	1,7	2,4			
	Kč/m ³	9,6	9,6			
Řezný plyn -N2 (dusík)	m ³ /hod			14,6	18	12,4
	Kč/m ³			9,6	9,6	9,6
Spotřeba řez. plynů	Kč/hod	16,4	23,1	140,5	173,2	119,3
Spotřeba řez. plynů – celkem	Kč/hod	21,9	28,6	146	178,7	124,8
Spotřební díly Kč/h		175,8	182,5	299,9	332,6	278,7

Cena stroje Kč/h	1115,2	1121,9	1239,3	1272	1218,1
-------------------------	---------------	---------------	---------------	-------------	---------------

V následující tabulce je patrný rozdíl ceny stroje Kč/h mezi předchozí jednosměnnou výrobou a následující dvousměnnou výrobou.

Tab. 6.2 Výpočet ceny stroje na hodinu práce ve dvou směnách (11)

Typ stroje	ORION	3015	
Laserový výkon	2500	Watt	
Navrhovaný výrobní čas	4400	hod./rok	směn 2

Fixní náklady				
Odpis hodnoty (investic)	start cena Kč	doba odpisu roků	odpisy Kč/rok	odpisy Kč/hod.
Kalkulace odpisu	8 019 258	5	1 603 851,6	364,51
Úroky	start cena Kč	úrok. sazba %	úrok Kč/rok	úrok Kč/hod.
Kalkulace úroku	8 019 258	6,00%	24 0577,7	54,7

Cena plochy (pronájem)	plocha m ²	cena plochy Kč/m ²	cena plochy Kč/rok	cena plochy Kč/hod.
Kalkulace na plochu v hale	33,6	1547	51 979,2	11,8
Údržba	díly Kč/hod	hodina práce Kč/hod		údržba Kč/hod
Kalkulace údržby stroje	47,3	29,9		77,2
Fixní náklady - celkem				508,2

Variabilní náklady						
Energie		kW	Kč/ kWh	Kč/hod	Kč/hod	
Laser (max. tlak)		21,4	4,2	89		
Chlazení		9,3	4,2	38,7		
Stroj		5,8	4,2	24,2		
Odsávání		3,3	4,2	13,8		
Energie (80%) - celkem					132,6	
Spotřební díly		hod.interval	Kč	Kč/hod	Kč/hod	
Zrcadla ve stroji		6000	26 026	4,4		
Čočky		1000	11 310	11,4		
Trysky		50	273	5,5		
Spotřební díly - celkem					21,3	
Spotřeby plynu		m ³ /hod	Kč/m ³	Kč/hod		
Stlačený vzduch		30	0,13	3,9		
Laserový plyn (N2/ He/ CO2)		0,01	164,3	1,6		
Material		RST 37-2 2mm	RST 37-2 8mm	X5 CrNi 2mm	X5 CrNi 4mm	AlMg3 2mm
Řezný plyn -O2 (kyslík)	m ³ /hod	1,7	2,4			
	Kč/m ³	9,6	9,6			
Řezný plyn -N2 (dusík)	m ³ /hod			14,6	18	12,4
	Kč/m ³			9,6	9,6	9,6
Spotřeba řez. plynů	Kč/hod	16,4	23,1	140,5	173,2	119,3
Spotřeba řez. plynů - celkem	Kč/hod	21,9	28,6	146	178,7	124,8
Spotřební díly Kč/h		175,8	182,5	299,9	332,6	278,7
Cena stroje Kč/h		684	690,7	808,1	840,8	786,9

Cena hodiny práce na laseru účtovaná zákazníkovi je možné určit následovně. Určí se směnnost, ve které stroj bude pracovat. Z té vyplývá cena hodiny stroje. K tomu se přičtou náklady na zaměstnance, halu, vysokozdvizný vozík, ostatní náklady a zisk. Dostaneme celkovou cenu jedné hodiny práce pro jedno a dvousměnný provoz dle následující tabulky.

Tab. 6.3 Celkové náklady na hodinu práce (11)

Plech do tl. 8 mm, nerez do tl. 4 mm		Plech do tl. 8 mm, nerez do tl. 4 mm	
Celkové hodinové náklady 1 směna		Celkové hodinové náklady 2 směny	
Hodina stroje se spot. mat.	1193	Hodina stroje se spot. mat.	762
Hodina – 1 zaměstnanec	350	Hodina – 1 zaměstnanec	350
Odpis haly	50	Odpis haly	50
Vozík	30	Vozík	30
Ostatní (jeřáb, elektro,...)	50	Ostatní (jeřáb, elektro,...)	50
Celkem	1673 Kč	Celkem	1242 Kč
Celkem s 20% ziskem		Celkem s 20% ziskem	
2008 Kč		1490 Kč	

Tyto hodnoty ovlivní průměrnou cenu hodiny práce ve firmě následovně: doposud cena strojní výroby byla v průměru 350Kč/ h, od začátku používání laseru v dvousměnném provozu při ceně jedné hodiny práce 1490 Kč se průměrná cena strojní výroby zvedne na 387 Kč/ h. Ovšem cenu klasické strojní výroby nelze srovnávat s cenou laserového řezání, tudíž se ceny těchto výrob budou udávat samostatně. Strojní výroba 350 Kč/ h a laserové řezání 1490 Kč/ h.

Další hlavní náklady související s projektem jsou v následující tabulce.

Tab. 6.4 celkové náklady na projekt

položka	Cena [Kč]
Stavba výrobní haly	2 500 000
Laser	8 019 258
Ohraňovací lis	3 536 000
Jeřáb	357 430
Kompresor	120 000
Rozvody plynu	80 000

Celková výše investičních projektových výdajů činí cca 13 082 tis. Kč bez DPH. Tyto finanční prostředky budou z cca 99 % vynaloženy na pořízení strojního vybavení, cca 1 % bude vynaloženo na odborné konzultační služby a publicitu projektu. Realizace projektu je jednoetapová a bude trvat 10 měsíců. (10)

Pozitivní vliv nové technologie na stávající výrobní procesy (zvýšení obrátkovosti výroby a zvýšení produktivity práce) se odráží v růstu obrátu tržeb a ve snížení výkonové spotřeby. (10)

Tab. 6.5 Náročnost technologií (10)

Parametry technologie	Stávající technologie	Nová technologie
Kapacita výkonu	0,6 díly/hod	3 díly/hod.
Průměrné využití stroje	0,6	0,8
Příkon	45 – 60 kWh	24 – 40 kWh
Časová náročnost přípravy	160 min.	45 min.
Časová náročnost dělení plechu – standardní díl	20 min.	10 min.
Časová náročnost následných prací	120 min.	120 min.
Časová náročnost výroby jedné zakázky	3,00 hod	1,42 hod.

Z provedeného porovnání vyplývá, že zavedením modernější technologie vznikne ve výrobním procesu významná časová úspora, která dle konkrétní skladby a náročnosti zakázek bude dosahovat cca 55 %. Navíc dojde vzhledem k efektivnějšímu postupu přípravy práce na těchto strojích ke zkvalitnění nástřihových plánů, a tudíž k úspoře materiálu, a to přímo při výrobě, ale i v souvislosti s možným využitím dosud odpadového materiálu.

Předpokládaný růst objemu tržeb společnosti je mezi rokem 2007 – 2009 ve výši 19 %. Tohoto růstu bude dosaženo zejména vlivem výše uvedeného růstu produktivity práce, ale také možností realizace kvalitativně náročnějších, a tedy i finančně zajímavějších zakázek. Zaváděná technologie totiž umožňuje realizovat výrobu prvků, které dosavadní technologií nebylo vůbec možné vyrobit.

Použití nové modernější technologie ve výrobě zkracuje průměrnou dobu výroby standardní zakázky ze stávajících 3 hod. na 0,45 hod. Uvedená časová úspora má zejména vliv na snížení osobních nákladů na jednotku výkonu. K významnějšímu zkrácení doby výroby, vlivem vybavení nového stroje elektronikou podporující technologickou přípravu výroby (zvláště výrazně se úspora projeví při opakování stejné výroby, kdy dojde k nastavení a přípravě stroje neporovnatelně rychleji, než při dosavadním ručním postupu). Tento efekt zvýšení produktivity práce se promítá do úspory přímých variabilních nákladů výroby. (10)

Materiálová spotřeba při použití staré a nové technologie na jednu standardizovanou zakázku se výrazně liší. Výše ročních nákladů v jednotlivých letech je dána předpokládaným počtem zrealizovaných zakázek ročně a úhrnem materiálových nákladů obou použitých technologií na 1 zakázku.

Spotřeba energií je dána 8hodinovou provozní dobou a příkonem strojů (průměr 55 kWh). Protože v roce 2008 je očekáváno výrazné navýšení cen energií, stávající náklady na výrobu jedné standardní zakázky jsou navýšeny o 15 %. V letech 2009 – 2013 jsou dále navýšeny o 3 %. (10)

Dále Finanční plán uvažuje s provozními náklady na opravu a údržbu strojů. Záruční lhůta nové technologie činí 3 roky, po toto období jsou odhadnuty náklady na opravu a údržbu jednoho stroje v částce 15 tis. Kč ročně. Pro roky 2010 – 2013 je odhadnuta částka na opravu a údržbu stroje na částku 40 tis. Kč ročně. (10)

Odpisy investice jsou stanoveny v souladu s § 32 zákona o dani z příjmu v platném znění. Technologie bude zařazena do II. odpisové skupiny. (10)

Tab. 6.6 Úspora nové technologie (10)

Náročnost výroby	Stávající	Nová
Řezání	2 hod.	40 min.
Energie	100 kWh	35 kWh
Manipulace	20 min.	10 min.
Osobní náklady	316 Kč	115 Kč
Kontrola	25 Kč	9 Kč
Nákladové vyjádření [Kč]	616 Kč	220 Kč
	úspora	64 %

Na základě výše uvedených skutečností se projekt jeví jako ekonomicky zdravý s růstovým potenciálem jak v oblasti výkonů, tak v oblasti zvyšování zisku.

Všeobecným cílem projektu je zvýšení konkurenceschopnosti a celkové pozice firmy na trhu. Projekt řeší kapacitní a technologickou nedostatečnost současné výroby vzhledem k poptávce a výrazně zvyšuje efektivitu výroby. Hlavní cíl bude realizován nákupem technologie pro výrobu plechových dílů – ohraňovacího lisu a laserového řezacího stroje.

Specifickými cíli projektu jsou: zvýšení kvality, rychlosti a pružnosti výroby, odstranění drahých a nepružných kooperací, zkrácení dodacích termínů, snížení nákladovosti, zvýšení produktivity práce, navýšení exportu produkce a navýšení celkového obrátu společnosti do tří let o 25 % a celkově o cca 36 % do pěti let. (10)

ZÁVĚR

Technologie laserového řezání se dostává v posledních letech do popředí ve výrobě plechových dílů. Vytlačuje tak dříve hojně využívané pálení plamenem či řezání plazmou. Má však omezení, kde maximální tloušťka páleného plechu je 20 mm (u laserového řezacího stroje Orion je tato tloušťka 16 mm). Zmíněná technologie se začíná hojně využívat ve středních i malých strojírenských provozech.

Diplomová práce byla zaměřena na aplikaci laserového řezání v malé strojírenské firmě, konkrétně na návrh laserového pracoviště a návrh skladového hospodářství. Z praktických výpočtů a teoretických studií vyplývá:

- je vhodné promyslet styl a způsob rozmístění součástí do tabule plechu, nezávisle na řídicím programu stroje.
- při technologické přípravě výroby je nutné brát v potaz velikost vyráběných dílů a velikost použitého formátu tabule plechu.
- při sériové výrobě je volba vhodného formátu plechu o to znatelnější, o co je větší počet součástí ve výrobní dávce.
- z výpočtů součásti č. 4 vyplývá: úspora materiálu při použití výhodnějšího formátu činí 129,5 kg ocelového plechu na výrobní dávku 3360 ks.
- u pálení součástí menších rozměrů, které by po vypálení nezachovávaly svoji stabilitu na stole stroje, je vhodné použít u každé součásti tzv. zámky pro přidržení součásti v nosném rámu plechu, ovšem s ohledem na požadovanou jakost hotových součástí.
- z hlediska umístění stroje je vhodné důkladně promyslet více variant a volit tu nejvhodnější, samozřejmě s přihlédnutím na produktivitu práce a efektivní manipulaci s materiálem.
- naskladnění plechu u použité varianty laseru podél haly je velmi omezeno a je závislé na velikosti vypalovaných dílů, které je nutné odkládat do prostoru naskladněných plechů.
- tato výroba by měla probíhat nejméně v dvojsměnném provozu ovšem pro lepší rentabilitu a konkurenceschopnost je dobré do budoucna počítat s třísměnným provozem.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. HLAVENKA, B. *Manipulace s materiálem: systémy a prostředky manipulace s materiálem*. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1986. 152 s.
2. HLAVENKA, B. *Projektování výrobních systémů: technologické projekty I*. 3. vyd. Brno: PC – DIR Real, 1999. 225 s. ISBN 80-214-1472-3.
3. IMTRADEX. *Konzolové regály*. [online]. c 2007, [cit. 2008-02-13]. Dostupné z: <[http:// www.imtradex.cz.mht](http://www.imtradex.cz.mht)>.
4. JANATA, M. *Průmyslové lasery jejich aplikace*. [online]. c 2007, [cit. 2007-02-10]. Dostupné z: <[http:// www.airproducts.cz](http://www.airproducts.cz)>.
5. LVD. *Návod k ovládání Orion Series Laserové řezací stroje*. Gullegem: LVD Copany n.v., 2007. 96 s.
6. LVD. *Instalační předpisy Laserová řezací centra řada Orion*. Gullegem: LVD Copany n.v., 2007. 9 s.
7. MAŇKOVÁ, I. *Progresivní technologie*. 1. vyd. Košice: Vyenala, 2000. 275 s. ISBN 80-7099-430-4.
8. MINAŘÍK, V. *Základní druhy technologických laserů pro řezání a svařování*. [online]. c 2007, [cit. 2008-02-10]. Dostupné z: <[http:// www.cws-anb.cz](http://www.cws-anb.cz) >.
9. MIROSLAVSKÉ STROJÍRNY. [online]. c2008, [cit. 2008-03-11]. Dostupné z: <[http:// www.mstrojirny.cz](http://www.mstrojirny.cz). >.
10. MIROSLAVSKÉ STROJÍRNY. *Podnikatelský záměr*. Miroslav, 2007, 50 s.
11. MIROSLAVSKÉ STROJÍRNY. *Firemní podklady*. Miroslav, 2008
12. MORÁVEK, R. *Nekonvenční metody obrábění*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1999. 102 s. ISBN 55-088-99.
13. ZATLOUKAL, P. *Laserové dělení materiálu*. [online]. c 2007, [cit. 2008-02-10]. Dostupné z: <[http:// www.welding.cz.htm](http://www.welding.cz.htm)>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

D_{hi}	[mm]	Celková dráha projetá při řezu jedné tabule plechu
O_d	[mm]	Obvod drážky
O_l	[mm]	Obvod délky součásti
O_o	[mm]	Obvod hlavního tvaru součásti
O_{tr}	[mm]	Obvod trojúhelníka
O_v	[mm]	Obvod výstupků
O_{s4}	[mm]	Obvod součásti č. 4
O_{s5}	[mm]	Obvod součásti č. 5
O_{s6}	[mm]	Obvod součásti č. 6
O_{s7}	[mm]	Obvod součásti č. 7
O_{s8}	[mm]	Obvod součásti č. 8
O_{s9}	[mm]	Obvod součásti č. 9
O_{s10}	[mm]	Obvod součásti č. 10
O_{2d}	[mm]	Obvod dvou drážek
P_{sij}	[%]	Procentuální využití tabule plechu
P_{oij}	[%]	Procento odpadu z tabule plechu
S_c	[mm ²]	Celkový obsah součásti
S_d	[mm ²]	Obsah drážek
S_f	[mm ²]	Obsah formátu plechu
S_{ij}	[mm ²]	Obsah plochy zabrané součástkami
S_o	[mm ²]	Obsah hlavního tvaru součásti
S_s	[mm ²]	Obsah sražení
S_t	[mm ²]	Obsah trojúhelníka
S_{u4}	[mm ²]	Ušetřená plocha
S_{u5}	[mm ²]	Ušetřená plocha
S_{u6}	[mm ²]	Ušetřená plocha
S_{u7}	[mm ²]	Ušetřená plocha
S_{u8}	[mm ²]	Ušetřená plocha
S_{u9}	[mm ²]	Ušetřená plocha
S_{u10}	[mm ²]	Ušetřená plocha
S_v	[mm ²]	Obsah výstupků
$T_{\check{c}i}$	[min]	Čistá doba řezu celé výr. dávky
T_i	[min]	Čistá doba řezu jedné tabule
h_i	[mm]	Celková dráha nájezdů a výjezdů
k_{ij}	[-]	Počet tabulí plechu na dávku
m_i	[kg]	Hmotnost formátu plechu
n	[-]	Počet kusů
m_4	[kg]	Úspora materiálu
m_5	[kg]	Úspora materiálu
m_6	[kg]	Úspora materiálu
m_7	[kg]	Úspora materiálu
m_8	[kg]	Úspora materiálu
m_9	[kg]	Úspora materiálu
m_{10}	[kg]	Úspora materiálu

t_4	[mm]	Tloušťka materiálu
t_5	[mm]	Tloušťka materiálu
t_6	[mm]	Tloušťka materiálu
t_7	[mm]	Tloušťka materiálu
t_8	[mm]	Tloušťka materiálu
t_9	[mm]	Tloušťka materiálu
t_{10}	[mm]	Tloušťka materiálu
ρ_4	[kg.m ⁻³]	Hustota materiálu
ρ_5	[kg.m ⁻³]	Hustota materiálu
ρ_6	[kg.m ⁻³]	Hustota materiálu
ρ_7	[kg.m ⁻³]	Hustota materiálu
ρ_8	[kg.m ⁻³]	Hustota materiálu
ρ_9	[kg.m ⁻³]	Hustota materiálu
ρ_{10}	[kg.m ⁻³]	Hustota materiálu

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Výkres výrobní haly a skladu materiálu
Příloha 2 Výkres součásti č. 4 č. v. 4020/04/03-001-04
Příloha 3 Výkres součásti č. 5 č. v. 4020/04/03-001-05
Příloha 4 Výkres součásti č. 6 č. v. 4020/04/03-001-06
Příloha 5 Výkres součásti č. 7 č. v. 4020/04/03-001-07
Příloha 6 Výkres součásti č. 9 č. v. 2-980-2-1-71-7153
Příloha 7 Výkres součásti č. 10 č. v. 2-980-3-2-71-7153
Příloha 8 Tabulka řezných rychlostí
Příloha 9 Výkres součásti č. 8 č. v. 4020/04/03-001-01

Příloha 1