



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA KOSTKY

MANUFACTURING OF DICE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN DOUŠEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Doušek

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

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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

Výroba kostky

v anglickém jazyce:

Manufacturing of dice

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby reklamní hrací kostky z ocelového plechu. Součástka slouží k propagaci firmy a lze ji využít pro hraní her, je prostorového tvaru s několika otvory a bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle bakalářské práce:

Práce bude obsahovat rozbor současného stavu a variantní řešení možností výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti. Pro zvolenou technologii bude provedena aktuální literární studie, následovat bude návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty. Součástí řešení bude i návrh sestavy nástroje, technicko-ekonomické hodnocení a závěr.

Seznam odborné literatury:

1. MARCINIAK, Zdislaw, J.L. DUNCAN and S.J. HU. Mechanics of Sheet Metal Forming. 2.ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.
2. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.
3. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
4. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
5. FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
6. HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.
7. NOVOTNÝ, J. a Z. LANGER. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13-B3-IV – 41/22674.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 11.11.2013

L.S.

ABSTRAKT

DOUŠEK Martin: Výroba kostky.

Reklamní hrací kostka se využívá pro hraní her a současně slouží jako propagační nástroj ke zviditelnění firmy při předváděcích akcích před širokou veřejností. Součást je vyrobena z konstrukční oceli 11 373, výrobní série činí 5000 kusů za rok. Vyráběná součást má délku 220 mm, šířku 165 mm a tloušťku 1,5 mm. Z variantního řešení byla jako nejoptimálnější technologie výroby zvolena kombinace postupového stříhání s následnými třemi ohyby ve třech samostatných nástrojích. Byly provedeny technologické a konstrukční výpočty z nichž byli navrženy nástroje, pro které byla vytvořena základní výkresová dokumentace. Z celkové tvářecí síly a práce byl pro výrobu vybrán výstředníkový lis S 250, se jmenovitou silou 2 500 kN. Dále byli stanoveny náklady na výrobu jednoho kusu, přičemž výroba jedné reklamní hrací kostky s energií, mzdami a materiálem činí 12,75 Kč.

Klíčová slova: Reklamní hrací kostka, ocel 11 373, stříhání, ohýbání, výstředníkový lis S 250

ABSTRACT

DOUŠEK Martin: Manufacturing of dice.

The advertising (playing) dice is used for playing games and concurrently as promotional device to showing up company in the process of transfer events in full view of the public. The element is made of a structural steel 11 373, the production series are 5000 units per year. Produced component has a lenght of 220 mm, a width of 165 mm and a thickness of 1,5 mm. The variant solution was as optimal technology selected combination of rolling cutting followed by three folds in three separate instruments. It were made technological and structural calculations of which were devised tools, for which was made a basic drawing documentation. For production from total deformation force was chosen eccentric press S 250 with rated energy 2 500 kN. In the next step were fixed costs to produce one piece with the production of a advertising dice with energy, wages and material is 12,75 CZK.

Keywords: Advertising dice, steel 11 373, cutting, bending, eccentric press S 250

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DOUŠEK Martin. *Výroba kostky*. Brno, 2014. 48 s., 7 výkresů, 11 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci Výroba kostky vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 28.5.2014

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD.....	9
1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU	10
1.1 Možnosti výroby	11
2 TECHNOLOGIE STŘIHÁNÍ A OHÝBÁNÍ	14
2 TECHNOLOGIE STŘIHÁNÍ A OHÝBÁNÍ	14
2.1 Střihání.....	14
2.1.1 Vůle.....	15
2.1.2 Síla a práce.....	15
2.1.3 Nástroje pro střihání.....	17
2.2 Ohýbání.....	21
2.2.1 Velikost odpružení.....	22
2.2.2 Minimální a maximální poloměr ohybu	23
2.2.3 Síla a práce.....	23
2.2.4 Nástroj pro ohýbání	24
2.4 Stroje a zařízení	26
2.5 Technologičnost součásti.....	27
3 NÁVRH VÝROBY	30
3.1 Volba nástřihového plánu	32
3.2 Výpočet střižné části	35
3.3 Výpočet ohybové části.....	40
3.4 Volba stroje.....	42
3.5 Návrh střižného nástroje	43
3.6 Návrhu ohýbacích nástrojů	44
4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	47
5 ZÁVĚRY	48

Seznam použitých symbolů

Seznam použitých obrázků

Seznam použitých tabulek

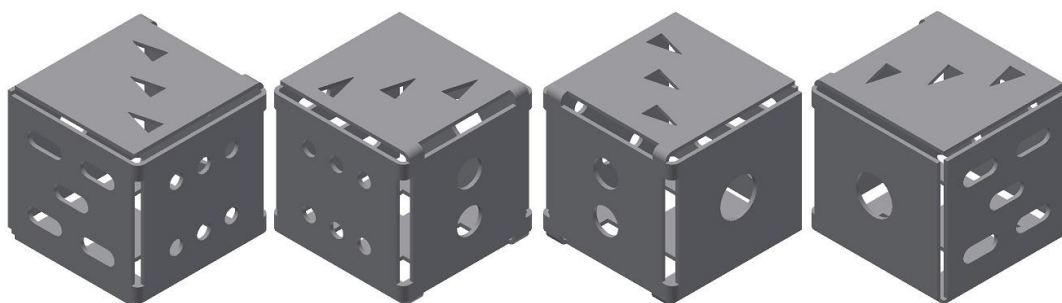
Seznam použité literatury

Seznam výkresové dokumentace

Seznam příloh

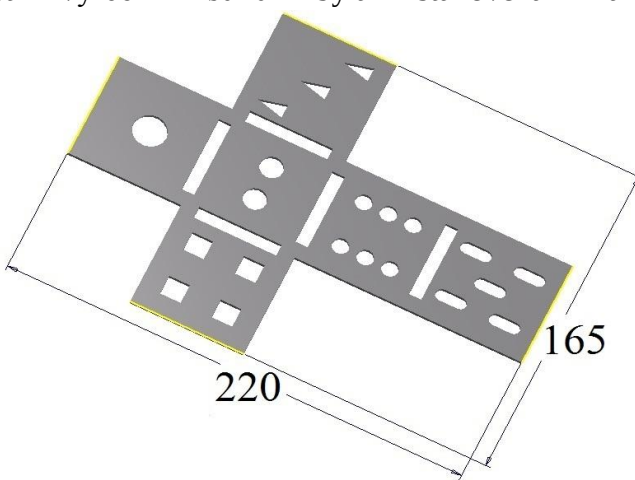
1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU [61],[18],[9]

Reklamní kostka se využívá pro hraní her a současně slouží jako propagační nástroj zviditelnění firmy při předváděcích akcích před širokou veřejností. U součásti nemusí být řešeny přesné rozměry, tolerance, drsnosti a podobně, protože tato součást nebude plnit žádnou strojní funkci (kromě házení), ale může sloužit například pro prezentaci firem vyrábějících výstředníkové lisы nebo různých společností, které obchodují s ocelovými plechy a podobně. Pohledy součásti v prostoru jsou zobrazeny na obrázku 2 a „rozvinutý tvar“ je zobrazen na obrázku 3.



Obr. 2 Reklamní hrací kostka zobrazená v prostoru

Hlavní rozměry součásti v rozvinutém tvaru jsou: tloušťka 1,5 mm, délka 220 mm a šířka 165 mm. Všechny potřebné rozměry jsou uvedeny v příloze 1 a ve výkresové dokumentaci je umístěn kompletně zakótovaný výkres s názvem „Rozvinutý tvar“, který má číslo výkresu BP-11-11. Hmotnost a objem součásti byly zjištěny pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2013 - hmotnost 0,180 kg, objem 22 965,11 mm³. Byl zvolen materiál 11 373 a velikost výrobní série byla stanovena na 5 000 kusů za rok. Ocel 11 373 byla zvolena z důvodu, že se jedná o neušlechtilou konstrukční ocel obvyklé jakosti, často používanou na různé výrobky běžného použití, dále je vhodná pro statické i dynamické namáhání a díky vysoké použitelnosti je dostupná za poměrně nízkou cenu. Pro zvolený materiál je nutné počítat s náklady na následnou povrchovou úpravu, aby nedocházelo ke korozi. Mechanické vlastnosti a chemické složení pro zvolenou ocel jsou uvedeny v tabulce 1.



Obr. 3 Reklamní hrací kostka zobrazená v rozvinutém tvaru

Tab. 1 Mechanické vlastnosti a chemické složení pro ocel 11 373 [9]

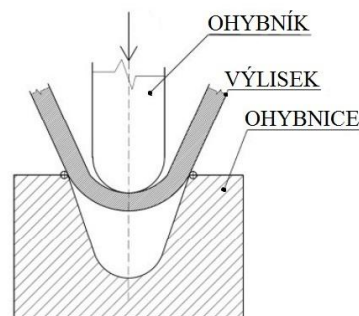
Ocel 11 373 (ČSN 41 13 73)				
Vlastnost	Název	Označení	Hodnota	Jednotka
Mechanická vlastnost	Mez kluzu	Re	250	MPa
	Mez pevnosti	Rm	370	MPa
	Tažnost	A	7	%
Chemická vlastnost	Uhlík	C	0,170	%
	Fosfor	P	0,045	%
	Síra	S	0,007	%

1.1 Možnosti výroby [34],[21],[17],[16],[41],[24],[50],[49],[20],[58],[2],[31],[51],[52],[32],[46],[36],[30],[29],[25],[48],[4],[13],[28],[47],[42],[55],[23]

Pro efektivní výrobu je zapotřebí, aby byla zvolena taková technologie, která bude nejvíce vyhovovat z hlediska produktivity práce, využití materiálu, rozměrové přesnosti, vlastností kovů, kvality a ceny. Ke každé metodě pro vytvoření reklamní hrací kostky je nutno přidat ohýbání.

○ Ohýbání

Ohýbání (obr. 4) je tvářecí proces, při kterém je materiál trvale deformován do různého úhlu ohybu s menším, nebo větším zaoblením hran. K tomuto procesu jsou používány nástroje (ohýbadla), které se skládají ze dvou hlavních částí a to ohybníku a ohybnice, výrobkem je výlisek. Při ohýbání tělesa do požadovaného tvaru, využíváme stejných zákonů plasticity, jako při ostatních způsobech tváření, to je překročením meze kluzu dosáhneme oblasti plastické deformace, která bývá doprovázena deformací elastickou.

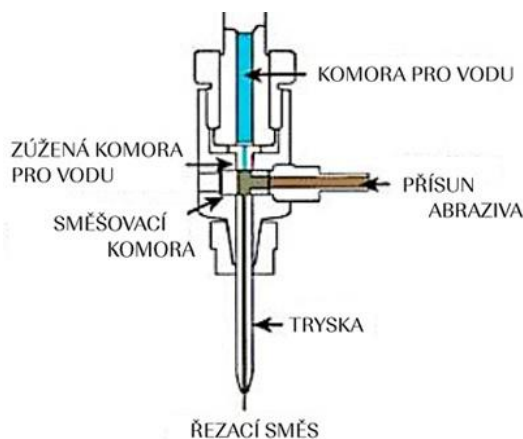


Obr. 4 Schéma ohýbání [41]

Jako metody, kterými by mohla být součást vyráběna, byly zvoleny technologie: dělení vodním paprskem, řezání plazmou, řezání laserovým paprskem, strojní vysekávání, přesné stříhání s nátlakovou hranou a postupové stříhání.

• Dělení vodním paprskem

Princip (obr. 5) je založen na obroušování materiálu vlivem vysokého tlaku vodního paprsku, který je soustředěn do jednoho místa. Pro měkké materiály se používá čistý vodní paprsek a pro ostatní případy materiálu je zapotřebí použít tzv. hydroabrazivní paprsek (vodní paprsek s příměsí). Výhodou této metody je možno řezat vodou přesně s čistými hranami, což způsobuje minimální velikost odpadu, čímž jsou ušetřeny náklady a zvýšeno využití materiálu. Při dělení touto metodou nejsou provedeny žádné metalurgické změny na řezné ploše a není žádná tepelně ovlivněná oblast, protože se jedná o studený řez. Řezat se mohou nekovové, kovové i kompozitní materiály o velké tloušťce. Nevýhodou je velmi hlučný způsob řezání, vysoké pořizovací ceny a vysoké náklady na množství spotřebované vody a náklady na opotřebení, je nutná vysoká údržba stroje, vzniká velká šířka řezné spáry, která je dána tloušťkou plechu a mohlo by dojít k rychlému nástupu povrchové koroze při kontaktu s vodou.

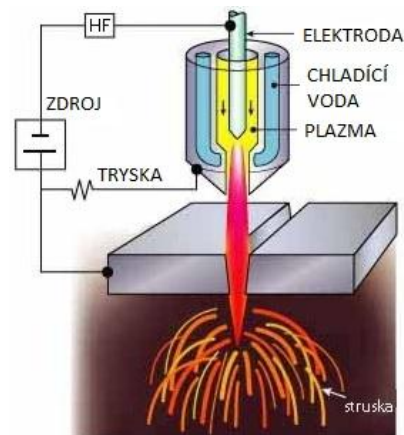


Obr. 5 Schéma dělení vodním paprskem [49]

• Řezání plazmou

Princip (obr. 6) je založen na tom, že mezi řezaný materiál a trysku je přivedeno napětí, které vytvoří elektrický oblouk. Elektrický oblouk hoří mezi anodou a katodou. Řezání plazmou je tedy založeno na ohřevu nebo tavení materiálu za extrémně vysokých teplot. Tyto teploty vznikají tak, že se molekuly plynu rozkládají, když prochází elektrickým obloukem. Mezi výhody patří vysoká řezná rychlost, možnost

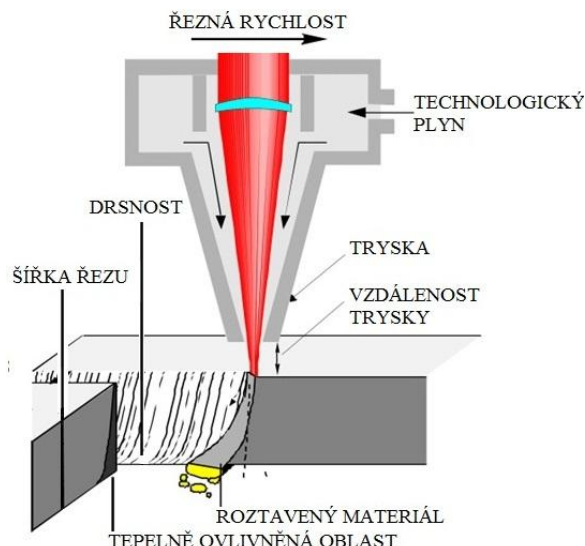
řezání vysokolegovaných ocelí, hliníkového materiálu a vysoce pevné konstrukční oceli, snadná automatizace a mechanizace. U této metody je sníženo vnesení tepla do vneseného materiálu, čímž je menší tepelně ovlivněná oblast a tím i deformace materiálu. Nevýhodou je určená maximální tloušťka řezaného materiálu (200 mm), vysoká pořizovací cena, vysoká cena za plyn a omezení této metody pouze na elektricky vodivé materiály, nutnost dodržet bezpečnostní opatření a ochranu obsluhy před UV zářením a velmi vysokou hlučností. Vzniká široká řezná spára, čímž dochází ke ztrátě materiálů.



Obr. 6 Schéma řezání plazmou [2]

• Řezání laserovým paprskem

Princip (obr. 7) je založen na metodě záření, při které laserový svazek vychází ze zdroje a pomocí zrcadel je nasměrován k řezací hlavě. Paprsek je v řezné hlavě přesně zaostřen a umístěn do požadovaného ohniska a soustředěná energie paprsku způsobí řezání materiálu. Mezi výhody patří velmi malá šířka (0,1 mm až 0,4 mm) řezné spáry a velmi vysoká přesnost, což umožňuje řezat velmi malé otvory a ostroúhlé tvary a díky velké přesnosti bude zvýšena úspora řezaného materiálu. Další výhodou je možnost řezání od velmi měkkých materiálu po velmi tvrdé materiály. Nevýhodou je výrazný přenos a vznik tepla, které může negativně ovlivnit vlastnosti řezané součásti, vysoké investiční a provozní náklady, kde mezi vysoké provozní náklady patří například vysoká cena plynů.



Obr. 7 Schéma řezání laserovým paprskem [30]

• Strojní vysekávání

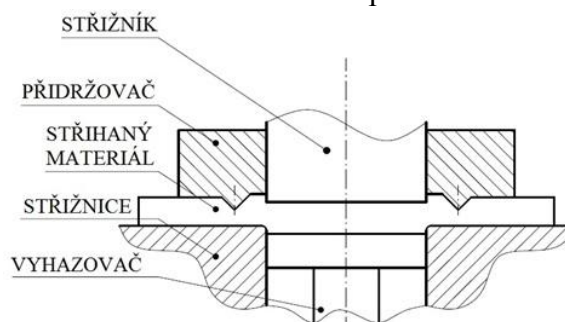
Strojní vysekávání (obr. 8) je prováděno na vysekávacích lisech speciálním nástrojem (raznicí) a je určeno k prorážení a děrování různých otvorů. Tato metoda slouží jak pro výrobu jednoduchých dílců, tak je možné ji použít na výrobu dílců složitějších tvarů. Výhodou je, že nedochází k přenosu tepla a tím nevzniká tepelně ovlivněná oblast a je možno dosáhnout veliké rychlosti vysekávání díky strojnímu posuvu. Mezi nevýhody patří možnost vysekávání pouze do tloušťky 6 mm, nutnost zhotovení výsekového nástroje, popřípadě provést výsek na vícekrát, opotřebování nástrojů, dražší pořizovací cena stroje a nutnost použití dokončovacích operací.



Obr. 8 Zobrazení strojního vysekávání [25]

• Přesné stříhání

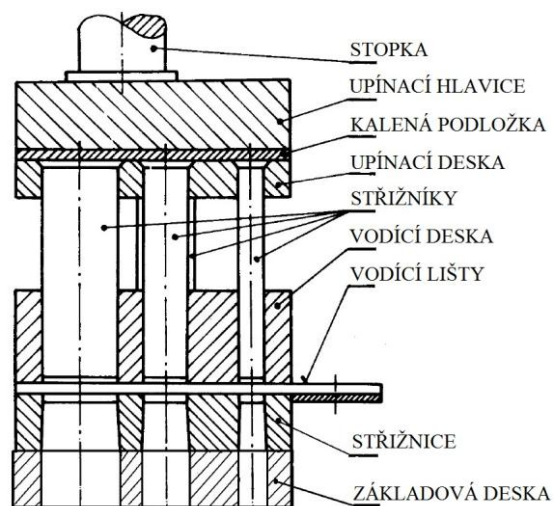
Pro přesné stříhání je nejpoužívanější metoda přesné stříhání s nátlacnou hranou (obr. 9). Princip je založen na tom, že materiál je při stříhání sevřen mezi přidržovačem, který je opatřen tlačnou hranou a střížnicí. Před stříhem dochází k vtlačení tlačné hrany do materiálu. Střížníkem a vyhazovačem je provedeno sevření, které brání prohnutí materiálu při stříhání. Při vystřížení výstřížku získáme vysokou kvalitu střížné plochy s přesnými rozměry. Výhodou je vysoká produktivita a hospodárnost, vysoké využití materiálu a velmi dobrá rozměrová přesnost a malá drsnost střížné plochy výrobku. Při této metodě dochází k výrobě výrobků s velmi malým odpadem. Nevýhody jsou drahé stroje a nástroje, omezené konečné rozměry výrobku, nutnost obstarat přesný stříhací lis, nástroj a mazivo. Použití je vhodné pouze pro velkosériovou výrobu – nad 40 000 kusů za rok.



Obr. 9 Schéma přesného stříhání s nátlacnou hranou [48]

• Postupové stříhání

Princip (obr. 10) je založen na postupném vystřihování výstřížků. V prvním kroku dochází k děrování, v dalším kroku k vystřížení tvaru (obvodu) výstřížku. Při vložení nového pásu do nástroje se používají dorazy. Mezi výhody patří vysoká produktivita práce, vysoké využití materiálu, jednoduchost nástroje. Nevýhody jsou drahé stroje a nástroje, omezené rozměry konečného výrobku, dochází ke zpevnění střížné plochy a povrch stříhu je nerovný, mírně zkosený a drsný a tvarové výstřížky mohou být prohnuty ohybovým momentem.



Obr. 10 Schéma postupového stříhadla [23]

Vzhledem k řešené součástce a zhodnocení vhodnosti jednotlivých technologií byla vybrána jako nejoptimálnější varianta metoda postupového stříhání s následným ohýbáním, kde jsou nevýhody této metody považovány za přijatelné.

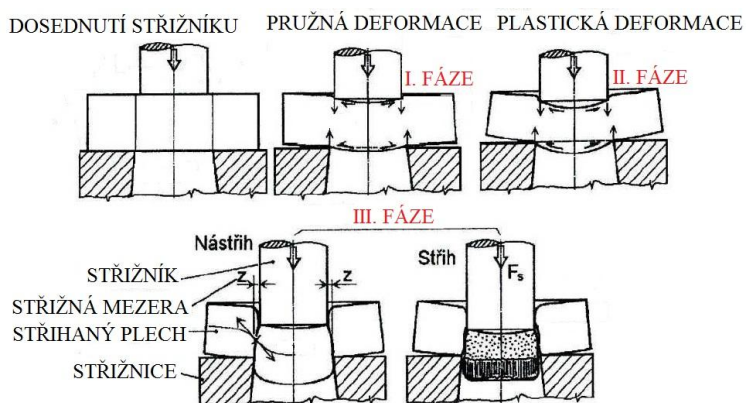
2 TECHNOLOGIE STŘIHÁNÍ A OHÝBÁNÍ

Střihání a ohýbání patří do technologie plošného tváření a obě tyto metody jsou považovány za základní metody zpracování plechu ve strojírenství, díky nimž se zvyšuje produktivita práce, rozměrová přesnost, využití materiálů, zlepšení struktury dílce a podobně. Postupové střihání a ohýbání má společné složení nástrojů, které je děleno na dvě základní části. První základní část nástroje je pevná, kde je zajištěna správná poloha stříhané a ohýbané součásti a druhá základní část nástroje je pohyblivá.

2.1 Střihání [21],[17],[41],[34],[3],[45],[23],[6]

Střihání je proces, ve kterém dochází k bezodpadovému dělení materiálu. Je to nejrozšířenější operace plošného tváření a je používáno na přípravu polotovarů, jako je střihání tabulí, svitků plechu, profilů, vývalků a podobně. Další využití střihání je použití na vystřihování součástí z plechu, které jsou buď konečné a nebo se mohou dále zpracovávat dalšími technologickými operacemi.

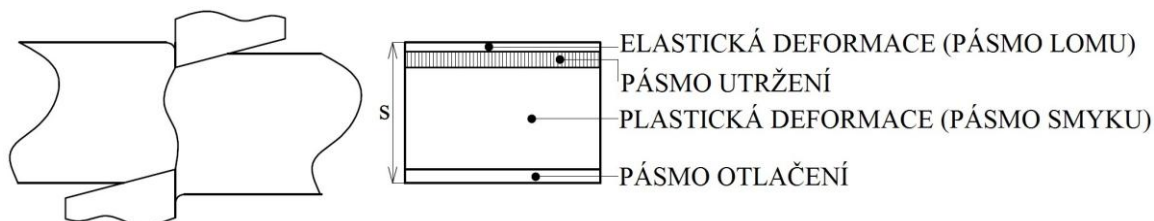
Procesy probíhající při střihání mohou být rozděleny na tři základní pásma (obr. 11). První pásmo je oblast pružné deformace a vzniká při vnikání střížníku do střížnice. Ve druhém pásmu nastává plastická (trvalá) deformace a je to způsobeno tím, že napětí v materiálu překročí mez kluzu. Tato část střížné plochy je hladká a lesklá. Ve třetím pásmu je překročena mez pevnosti ve smyku, kde na hranách vznikají trhlinky a probíhá samovolné oddělování stříhané části pod smykovým napětím. Toto třetí pásmo je nazýváno pásmem lomu.



Obr. 11 Průběh střihání [21]

Kvalita střížné plochy závisí na několika faktorech a to zejména na vlastnostech stříhaného materiálu, velikosti střížné mezery, druhu a stavu nástroje, charakteru geometrického tvaru výstřižku, kvalitě povrchu a přesnosti činných částí střížníku a střížnice.

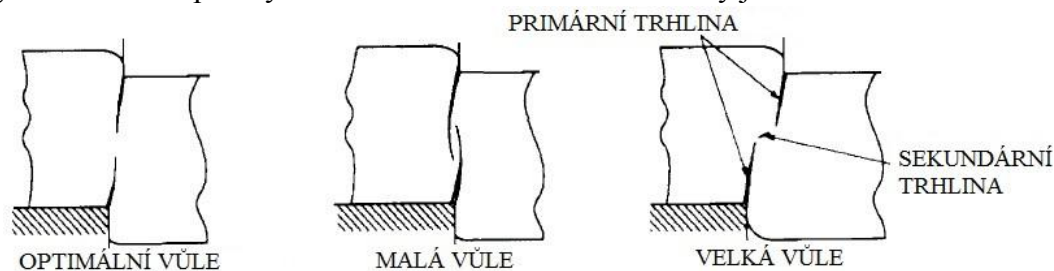
Na obrázku 12 je zobrazeno rozdělení střížné plochy, která se dělí na 4 základní části. První část je zaoblení vstupní hrany plechu, které se rovná 6% tloušťky stříhaného materiálu. Druhá část je zatlačení nože do vzniku trhliny, tato část se rovná 10% tloušťky stříhaného materiálu. Třetí část je střížná plocha, která se rovná 80% stříhaného materiálu a jako poslední čtvrtá část je zatlačení spodního nože, která se rovná 4% tloušťky stříhaného materiálu.



Obr. 12 Rozdělení střížné plochy [41]

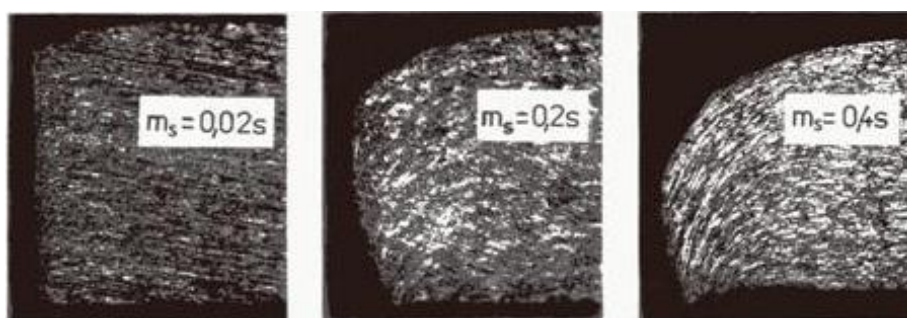
2.1.1 Vůle [6],[34],[48],[33],[5],[11]

Střížná vůle je určena rozdílem mezi rozměrem střížnice a střížníkem, přičemž jednostranný rozdíl vytváří střížnou mezeru. Její velikost záleží na mnoho činitelích, především na druhu materiálu a na jeho tloušťce. Při stříhání přesného vnějšího obvodu výstřížku se vytvoří zmenšováním rozměru střížníku a při děrování otvorů vzniká zvětšováním rozměru střížnice. Jestliže bude zvolena správná velikost, bude tím zaručeno, že se trhliny vznikající při stříhu setkají a tím bude zaručeno správné usmýknutí stříhané plochy. Vliv střížné vůle na tvorbu trhliny je zobrazen na obrázku 13.



Obr. 13 Vliv střížné vůle na tvorbu trhlin [48]

Dále má střížná vůle vliv na kvalitu střížných ploch, střížnou sílu, trvanlivost bříty a na vznik ostřin i spotřebu energie. Vliv střížné vůle na kvalitu střížné plochy je zobrazen na obrázku 14, kde m_s značí střížnou mezeru a s tloušťku stříhaného materiálu.



Obr. 14 Kvalita střížné plochy pro různou velikost střížné mezery [34]

Pro výpočet střížné mezery (pro plechy s tloušťkou $s \leq 3$ mm) je uveden vztah:

$$m = c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{k_s}, \quad (2.1)$$

kde: v [mm] – střížná vůle

c [-] – koeficient přesnosti (volí se 0,005 až 0,025)

k_s [MPa] – střížný odpor (volí se 0,75.R_m až 0,9.R_m)

Střížná vůle je dvakrát větší, než střížná mezera a pro její výpočet je uveden vztah:

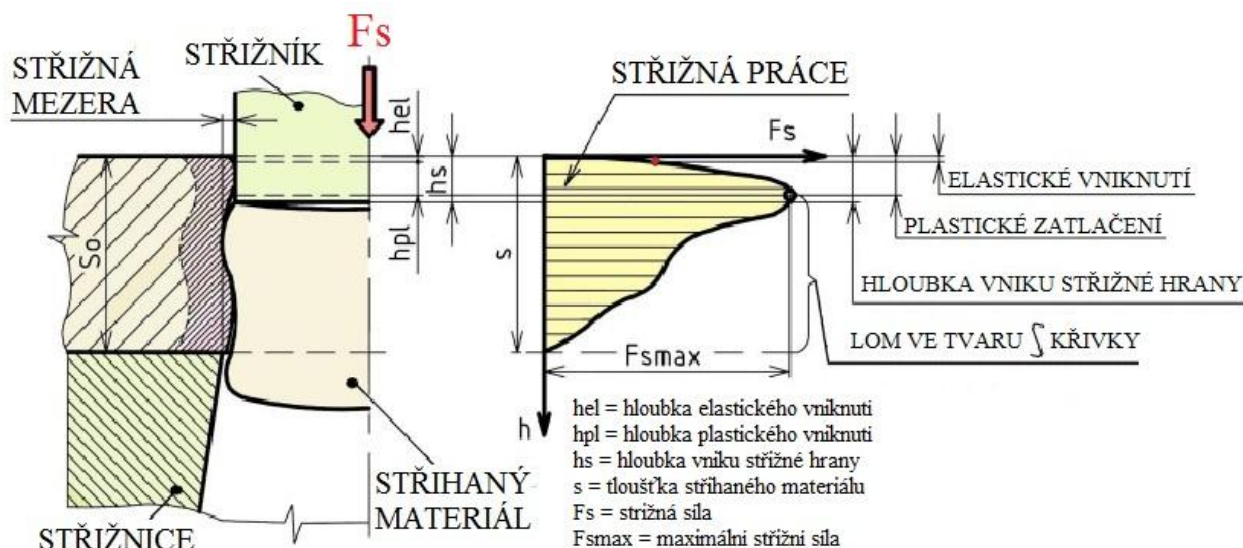
$$v = 2 \cdot m, \quad (2.2)$$

2.1.2 Síla a práce [56],[34],[6],[21],[7]

Střížná síla ovlivňuje volbu lisu a návrh nástrojů, kde se střížná síla používá pro výpočet těžiště, výpočet práce a podobně. Výpočet střížné síly je tedy nutno provést pro správný návrh technologického procesu stříhání. Velikost střížné síly je v každém okamžiku dána součinem střížné síly a střížného odporu. Síla je uvažována o 10 až 30% větší, díky tomu, že zde působí přídavné namáhání, protože při reálných podmínkách nedochází úplně k čistému stříhu, ale namáhání jsou kombinovaná.

Při stříhání se křehké materiály poruší při nepatrném vniknutí střížníku do materiálu. U houževnatých materiálů dochází ke zpevňování materiálu a tím k růstu střížného odporu a střížné síly.

Střížnou sílu je možno snížit úpravou střížných hran, kde se provádí zešikmení střížných hran pod určitým úhlem. Díky technologickému hledisku se také v případě stříhání dlouhých tvarových stříhů provádí úprava střížníku, aby nebyla střížná síla příliš velká, čímž by mohlo docházet k rychlejšímu otupení nástrojů, ke značným rázům a ke zvlnění stříhaného materiálu. Tvarovou úpravou nástroje lze snížit střížnou sílu o 30 až 40%. Průběh střížné síly v závislosti na střížném procesu je zobrazen na obrázku 15.



Obr. 15 Průběh střížné síly v závislosti na střížném procesu [7]

Pro výpočet střížné síly je uveden vztah:

$$F_s = n \cdot \tau_s \cdot S = n \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot l \cdot s, \quad (2.3)$$

kde: F_s [N] – střížná síla

n [-] – koeficient otupení nástroje

τ_s [MPa] – střížný odpor

S [mm²] – plocha stříhu

R_m [MPa] – mez pevnosti stříhaného materiálu

l [mm] – délka stříhu

Střížná síla se mění od nuly po určité maximum a zpět na nulu, což závisí na tloušťce stříhaného materiálu a méně na střížné mezeře. Při skutečném stříhání nevzniká čistý smyk, ale vzniká kombinované namáhání, kde se nože otupují a střížná síla se zvyšuje o 10 až 30%.

Na obrázku 15 je vidět, že plocha vytčená pod silovou křivkou udává velikost střížné práce, pro kterou je zapotřebí zjistit hodnoty koeficientu pro práci (uvedeno v příloze č.2).

Velikost střížné práce lze vypočítat z následujících dvou vztahů:

$$A_1 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot x \cdot s \cdot F_{sCEL1}, \quad (2.4)$$

kde: A_1 [J] – střížná práce

π [-] – Ludolfovo číslo

F_{sCEL1} [N] – celková střížná síla

x [-] – koeficient pro výpočet práce

$$A_2 = k_1 \cdot F_{sCEL2} \cdot s, \quad (2.5)$$

kde: A_2 [J] – střížná práce

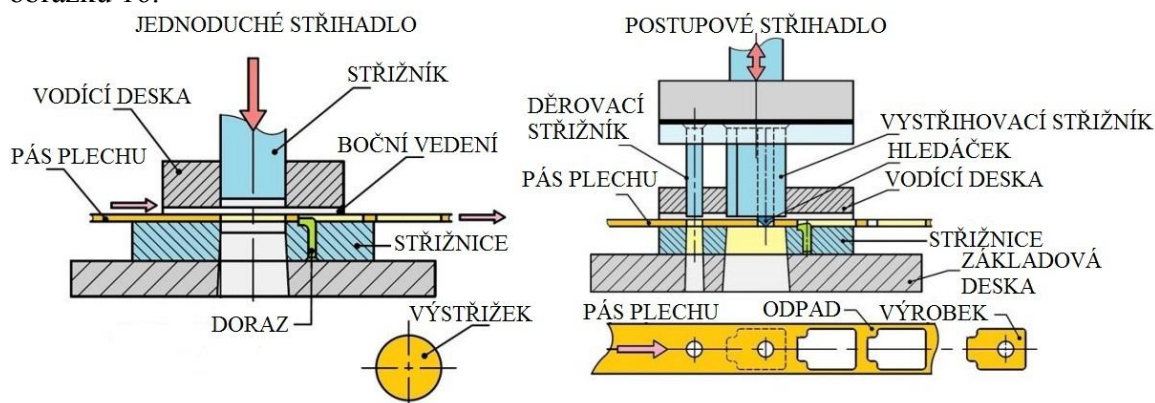
k_1 [-] – koeficient pro práci

F_{sCEL2} [N] – celková střížná síla

2.1.3 Nástroje pro stříhání [6],[43],[7],[12],[39],[21],[37],[41],[34],[48],[5],[11]

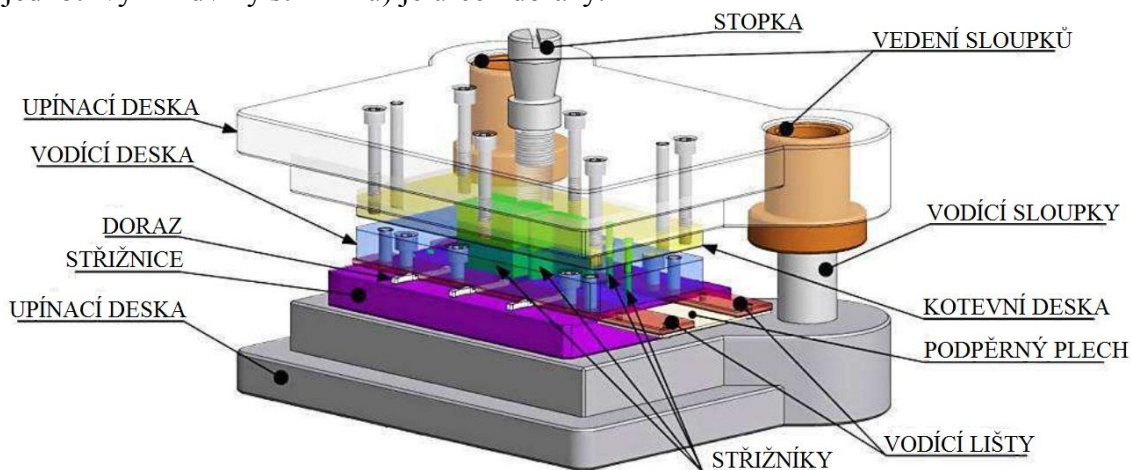
Nástroje pro stříhání lze rozdělit z hlediska vedení na bez vedení a s vedením. Nástroje bez vedení jsou velmi jednoduché a jsou používány pro výrobky s malou požadovanou přesností, přičemž vzájemné vedení nástroje je zajištěno pomocí beranu stroje. Tímto druhem nástroje je možno vyrobit výrobek o přesnosti IT 12 až IT 14. Naopak vedené nástroje zaručí vyšší přesnost výroby IT 9 až IT 11, ale také zvýší náklady na stroj. Při použití vedeného nástroje jsou odstraněny nepřesnosti lisu a zvýšena životnost nástroje.

Další možné rozdělení nástrojů je z hlediska složitosti nástroje na jednoduchá stříhadla a postupová stříhadla. Jednoduchá stříhadla zhotoví výstřížek na jeden zdvih nástroje a postupová stříhadla, která se skládají z více střížníků zhotoví výstřížek postupně na několik zdvihů. Jedním zdvihem nástroje mohou být vystříženy otvory výstřížku a dalším zdvihem může být vystřížen konečný tvar výstřížku. Postupová stříhadla mohou zhotovit dva a více stříhů na jeden zdvih, přičemž nástroje musí být velmi přesné a stabilní. Zobrazení jednoduchého a postupového stříhadla je zobrazeno na obrázku 16.



Obr. 16 Schéma jednoduchého a postupového stříhadla [7],[12]

Střížný nástroj (obr. 17) musí mít základovou desku (mat. 11 500), aby bylo možné upnutí na pracovní stůl stroje. Nejdůležitější funkcí nástroje plní hlavní části – střížník a střížnice. Stříhaný materiál je vkládán mezi pohyblivou část (střížník) a pevnou část (střížnici) a je veden za pomoci vodících lišt, přičemž všechny střížníky zajiždí současně do stříhaného materiálu a vytváří požadované tvary. Vzdálenost mezi těmito vodícími lištami je za potřeby zvolit takovou, kdyby v případě lisování došlo k deformaci materiálu (např. prohnutí), aby procházel materiál volně. Posuv materiálu (což je krok mezi jednotlivými zdvihy střížníku) je určen dorazy.



Obr. 17 Zobrazení postupového střížného nástroje [21],[37]

Počet dorazů je určen tím, kolik je kroků tvářecích operací. Nejjednodušším typem dorazů jsou pevné dorazy, které jsou zalisovány ve střižnici a mají tvar hladkého nebo osazeného kolíku - tyto dorazy se využívají v malosériové výrobě při ručním podávání pásů. Dalším typem jsou zpětné dorazy, které pracují na principu přejetí pásu plechu a při zpětném pohybu jsou doraženy – tyto dorazy se využívají u tlustých plechů, kde kvůli odpružení nebo výkyvu nedojde k jejich ulomení. Pokud je součást vyráběna tzv. otáčením pásu plechu, je vhodné použít načínací dorazy. Další možné provedení dorazů jsou dorazy odstříhovací, automatické a výškové. Tři druhy nejpoužívanějších dorazů jsou zobrazeny na obrázku 18.



Obr. 18 Zobrazení dorazů [43],[39]

U více operačních nástrojů je výhodné použít hledáčky, které zajistí přesné rozměry mezi jednotlivými operacemi a tím zaručí přesnost výstřižku. Princip spočívá v tom, že hledáček zapadne do otvoru, který je vyděrován v předchozí operaci a před tím, než dosedne střižník ustaví pás a během stříhání si pohlídá polohu stříhaného materiálu.

Při požadování dobré přesnosti výstřižku, je zapotřebí použít vodící desku, která umožňuje přesné vedení střižníku do otvoru střižnice. Vodící deska je upnuta šrouby přes vodící lišty a střižnici. Pokud je stříhaný plech vkládán ručně, upevňuje se na vstupní straně podpěrný plech, který usnadňuje vkládání polotovaru. Střižný nástroj bez vodící desky je možno použít tehdy, jestliže není požadována velká přesnost a kvalita výstřižku, přičemž tyto stříhadla musí být zajištěny přesným vedením smýkadla lisu.

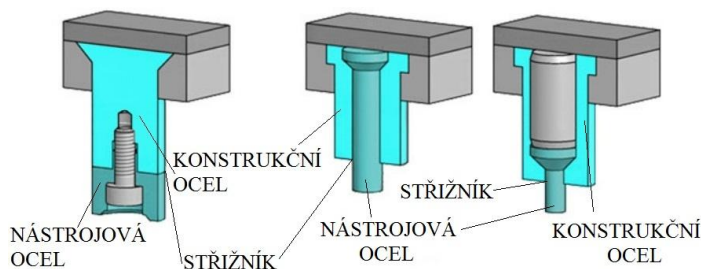
Střižníky jsou upnuty do kotevní desky pomocí několika možných způsobů. Nad kotevní deskou je umístěna tzv. opěrná deska, která je umístěna mezi kotevní a upínací deskou a slouží k tomu, aby zabránila protlačení střižníku do horní upínací desky. Horní část nástroje tvoří stopka (mat. 11 600), která je upnuta do beranu lisu, umístěna v těžišti a slouží k ustředění nástroje.

Nejpřesnější střižné nástroje jsou se sloupkovým vedením, přičemž se stříhadlo skládá ze dvou nebo čtyř sloupků (mat. 12 020), které jsou zapuštěny v základní desce. Horní část je v kotevní desce vedena kluznými (pro pomalejší a větší boční tlaky) nebo valivými pouzdry (pro pohyb s větší frekvencí a menším zdvihem), na čemž závisí i jejich materiál.

Rozměry střižné skříně a jejích částí jsou závislé především na rozměrech stříhaného materiálu a na počtu střižníků a střižných kroků. Základní rozměry střižné skříně jsou dány normou ČSN.

• Střižníky

Střižník je pohyblivá část střižného nástroje, nejčastěji z nástrojové oceli, který je upevněn do kotevní desky kolmo na stříhaný materiál. Střižníky lze rozdělit podle způsobu upínání (v upínacím držáku, osazením, roznýtováním, zalitím pryskyřicí) a podle tvaru průřezu (kruhové, obdélníkové, čtvercové a tvarové).



Obr. 19 Částečně vyrobené střižníky [43],[39]

Střížníky malých průměrů a tvarů jsou vyráběny z jednoho kusu nástrojové oceli (19 191, 19 312, 19 436), nebo ze slinutých karbidů (G3, G4 a G5). Na rozdíl od toho střížníky větších rozměrů mají nosnou část vyrobenou z konstrukční oceli (11 500, 11 600 a 11 700) a funkční část z nástrojové oceli. Tyto dělené střížníky (obr. 19) se používají přibližně od průměru 50 až 250 mm.

Střížníky musí být sestrojeny tak, aby byly stabilní na vzpěr. Postup výpočtu střížníku na vzpěr je takový, že nejdříve vypočítáme kritickou sílu pro střížník a pomocí této hodnoty vypočítáme maximální možnou délku střížníku.

Vzorec pro kritickou sílu je uveden:

$$F_{KR} = \mu_1 \cdot F_{SPS} , \quad (2.6)$$

kde: F_{KR} [N] – kritická síla

μ_1 [-] – koeficient bezpečnosti (volí se 1,5 až 2)

F_{SPS} [N] – střížná síla počítaného střížníku

Vzorec pro kritickou délku střížníku (tento vzorec je uveden pro kruhový střížník, jelikož nejmenší průřez střížníku na reklamní hrací kostce je kruhový) je uveden:

$$l_{KR} = \sqrt{\frac{\pi^3 \cdot E \cdot D^4}{1,5 \cdot 32 \cdot F_{KR}}} , \quad (2.7)$$

kde: l_{KR} [mm] – kritická délka střížníku

D [mm] – průměr střížníku

• Střížnice

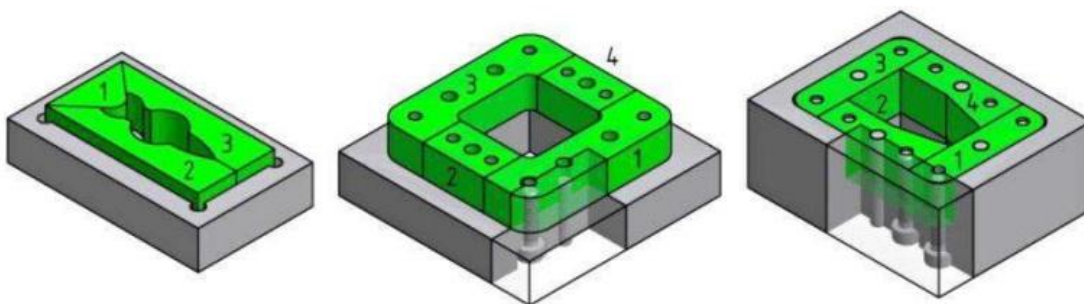
Střížnice je nejnákladnější část střížného nástroje, je upevněna k základové desce a její rozměr je určen velikostí polotovaru a počtem kroků. Ve střížnici jsou vyrobeny funkční otvory odpovídající stříhanému tvaru. Tyto otvory jsou broušeny, čímž získávají vysokou kvalitu a přesnost. Z broušené hrany musí být odstraněny případné otřepy, kdyby tak nebylo provedeno, byla by snížena kvalita střížné plochy. Přesnost výstřížků je ovlivněna výrobní přesností střížnice a mírou jejího opotřebení. Střížnice se dnes vyrábí z nástrojových ocelí (19 191, 19 312, 19 436), nebo částečně ze slinutých karbidů (G3, G4 a G5). Pro bezproblémové propadávání výstřížků je vhodné střížnici pod střížnou plochou rozšířit (obr. 20).



Obr. 20 Možné úpravy střížnic pod střížnou plochou [43],[39]

Střížnice lze z konstrukčního hlediska rozdělit na vyrobené z jednoho kusu (celistvé), vyrobené z několika částí (skládáné) a střížnice jejíž deska je vyrobena z konstrukční oceli, do které jsou vsazené kalené vložky (vločkované).

Celistvé střížnice jsou používány pro vystříhování menších a jednodušších tvarů, u kterých se úplně nemohou projevit nevýhody složitého opracování, které se dají odstranit kalením. Skládané střížnice (obr. 21) se skládají z více menších dílů, u kterých je jednodušší výroba otvorů a jsou využívány pro opracování složitých a velkých tvarů. Jejich výroba je přesnější a snadnější. Během tepelného zpracování se díly střížnice méně deformují a případné deformace lze odstranit broušením. Střížnice vločkované jsou používány především pro sériové a hromadné výroby, jelikož je dosaženo delší životnosti a je snadné vyměnit jednotlivou vložku. Mezi výhody patří fakt, že jsou jednoduché na výrobu a při montáži mohou být zalisované do střížné skříně. Nevýhodou je nutnost zajištění, aby při zpětném pohybu střížníku nedocházelo k jejímu vytahování.

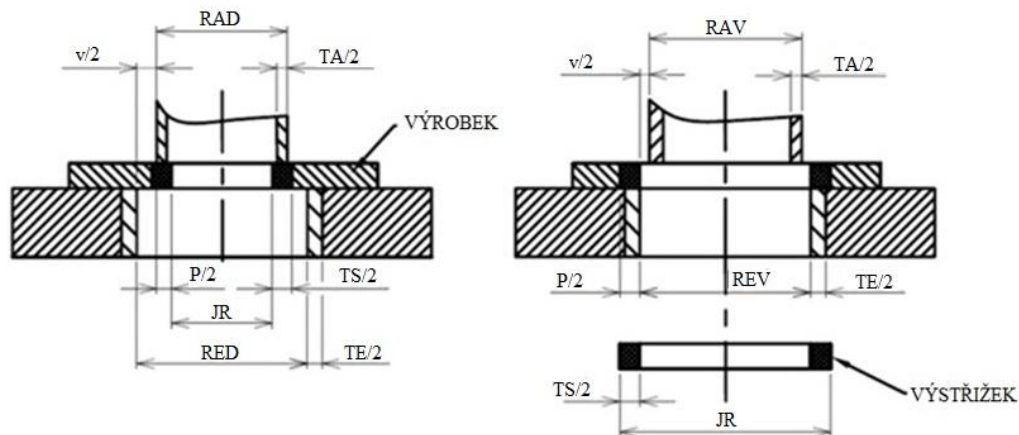


Obr. 21 Zobrazení skládaných střížnic [43],[37]

• Rozměry střížníků a střížnice

Rozměry pracovních částí stříhadel musí odpovídat rozměrům uvedeným na výkrese s příslušnými výrobními tolerancemi. Tyto rozměry jsou buď větší a nebo menší, což má vliv na konečné podmínky a výsledky stříhání. Tyto rozměry se tolerují, aby žádané množství výstřížků mělo požadované tolerance. Střížník se během stříhání zmenšuje a střížnice se zvětšuje. Při stanovení rozměru pracovních částí stříhadla se jedna část (buď střížník nebo střížnice) vezmou za základní a rozměry jedné pracovní části stříhadla se konstruuje v souladu se jmenovitými rozměry a příslušnými tolerancemi vystřihované součásti a rozměry druhé pracovní části nástroje se konstruuje s přihlédnutím k technologickým střížným vůlím. Při vystřihování obrysu jsou rozměry výstřížku závislé na rozměru střížnice a její opotřebení má bezprostřední vliv na rozměry součásti. Zmenšení střížníku se zřetelem na jeho opotřebení nemá podstatný vliv na rozměry součásti. Proto je doporučeno větší část tolerance součásti přenést na střížnici jako přídavek na její opotřebení. Naopak při děrování je rozměr díry závislý na rozměru střížníku a jeho opotřebení a proto větší část tolerance se přidá k toleranci střížníku.

Schéma děrování a vystřihování pro tyto výpočty je zobrazeno na obrázku 22 a vysvětlení těchto parametrů je uvedeno v tabulce 2.



Obr. 22 Schéma pro děrování a vystřihování [11]

Vzorce pro výpočet základních rozměrů střížníku a střížnice pro děrování jsou uvedeny ve vzorcích (2.8) a (2.9) a vzorce pro výpočet základních rozměrů střížníku a střížnice pro vystřihování jsou uvedeny ve vzorcích (2.10) a (2.11).

$$RAD = (JR + P/2) - TA \quad (2.8)$$

$$RED = (JR + P/2 + v) + TE \quad (2.9)$$

$$REV = (JR - P/2) + TE \quad (2.10)$$

$$RAV = (JR - P/2 - v) - TA \quad (2.11)$$

Tab. 2 Parametry pro výpočty (2.8) až (2.11) a obrázek č.22 [11]

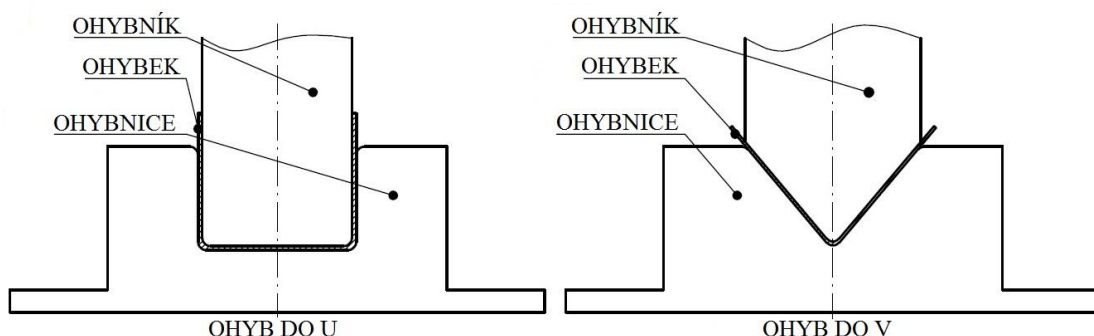
Parametr	Vysvětlení	Jednotka
RAD	Rozměr střížníku při děrování	[mm]
RED	Rozměr střížnice při děrování	[mm]
REV	Rozměr střížnice při vystřihování	[mm]
RAV	Rozměr střížníku při vystřihování	[mm]
JR	Jmenovitý rozměr součásti	[mm]
P	Přípustná míra opotřebení	[mm]
V	Střížná vůle	[mm]
TA	Výrobní tolerance střížníku	[mm]
TE	Výrobní tolerance střížnice	[mm]

Vzorce (2.8) a (2.9) jsou uvedeny pro způsob děrování, kde opotřebení rozměru je zmenšující a tolerance odchylek je $\pm$.

Vzorce (2.10) a (2.11) jsou uvedeny pro způsob vystřihování, kde opotřebení rozměru je zvětšující a tolerance odchylek je $\pm$.

2.2 Ohýbání [34],[21],[17],[16],[47]

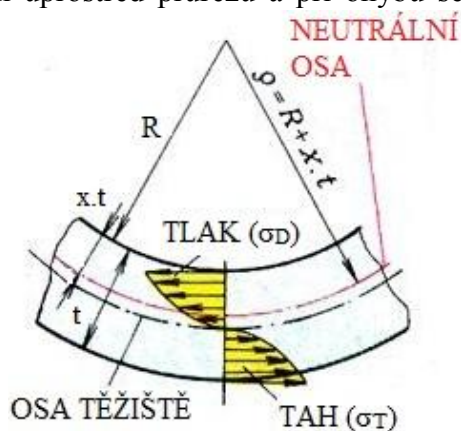
Technologie ohýbání je technologická operace, při které dochází k ohýbání pomocí pružně plastické deformace, která má různý průběh od povrchu materiálu k neutrální ose. Na velikost deformace mají vliv faktory, jako je tloušťka materiálu, kvalita materiálu, poloměr ohybu, velikost ohybového momentu, orientace ke směru válcování. Technologie ohýbání lze rozdělit z hlediska ohýbané součásti na ohyb do „tvaru U“ a do „tvaru V“ (obr. 23)



Obr. 23 Schématické znázornění ohybu do tvaru U a do tvaru V [34]

Při ohýbání kolem střední části průřezu ohýbaného materiálu jsou tahová napětí malá a dosahují hodnot nižších, než je mez kluzu daného materiálu. V přechodu mezi těmito dvěma pásmy jsou vlákna, na kterých není napětí ani deformace. Její spojnicí se říká takzvaná neutrální osa.

Neutrální osa (obr. 24) je umístěna před ohybem uprostřed průřezu a při ohybu se posouvá směrem k vnitřní straně ohybu. Neutrální osa teda není totožná s osou těžiště ohýbaného materiálu. Z délky neutrální osy v ohýbaných částech a z délek rovných úseků je možno určit rozvinout délku polotovaru před ohybem. Rozvinutá délka závisí na poloměru ohybu, tloušťce stříhaného materiálu a úhlu oblouku neutrální vrstvy. U tenkých plechů je rozdíl velmi minimální, ale při ohýbání tlustých plechů je nutno s tímto rozdílem počítat. Velikost posunutí neutrální plochy od původní osy průřezu je dána součinitelem x a závisí na poměru R/s .



Obr. 24 Neutrální osa [34]

Pro posunutí neutrální osy je dán vzorec, který platí pro malé poloměry ohybu (kdy za malé poloměry ohybu jsou považovány poloměry, které jsou menší dvanáctinásobku tloušťky plechu ohýbaného materiálu) a tento vztah je:

$$\rho = R_o + x_2 \cdot s, \quad (2.12)$$

kde: ρ [mm] – posunutí neutrální osy

R_o [mm] – poloměr ohybu

x_2 [-] – součinitel polohy

Pro výpočet délky výchozího polotovaru při ohýbání je nutný součet všech rovných úseků konečného výrobku a délek oblouků (neutrálních os) v místě ohybu. Vzorec pro výpočet délky oblouku lze vyjádřit vztahem:

$$l_N = \frac{\pi \cdot \varphi}{180^\circ} \cdot (R_o + x_2 \cdot s), \quad (2.13)$$

kde: l_N [mm] – délka oblouku

φ [°] – úhel ohybu

2.2.1 Velikost odpružení [34],[17],[16]

Jakmile na ohýbané těleso přestane působit deformační síla, těleso se vrací do původních rozměrů a takzvaně se odpruží. Odpružení se při ohybu projeví jako úhlová odchylka γ . Tato úhlová odchylka roste s délkou ramen.

Zpětné odpružení ohýbaných součástí je způsobeno vlivem pružné deformace materiálu kolem neutrální osy. Velikost závisí na tvárnosti materiálu, poloměru ohybu a způsobu ohýbání, přičemž úhlová odchylka leží v rozmezí od 1° do 3°. Velikost úhlu odpružení je zobrazena na obrázku 25.

Výpočet pro odpružení pro ohyb do tvaru V je zobrazen ve vzorci:

$$\tan \beta = 0,375 \cdot \frac{l_V}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}, \quad (2.14)$$

kde: β [°] – velikost odpružení

l_V [mm] – délka ramene

k [-] – součinitel odpružení

R_e [MPa] – mez kluzu

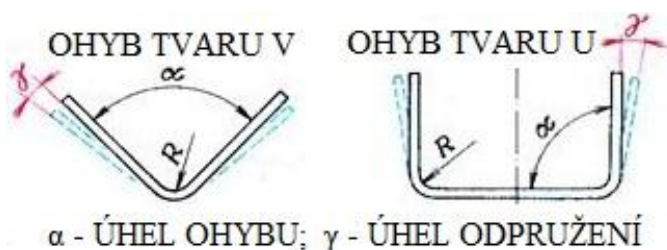
E [MPa] – modul pružnosti v tahu

Výpočet pro odpružení pro ohyb do tvaru U je zobrazen ve vzorci:

$$\tan \beta = 0,75 \cdot \frac{l_U}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}, \quad (2.15)$$

kde: l_U [mm] – délka ramene

Odpružení se dá zamezit korekcí o úhel, kalibrací a podbroušením pohyblivé části čelisti o úhel, zaoblením dolní strany pohyblivé čelisti a přidržovače poloměrem R , zpevněním materiálu v rozích, vylišováním vyztužovacího žebra v místech ohybu apod.



Obr. 25 Úhel ohybu a úhel odpružení [34]

2.2.2 Minimální a maximální poloměr ohybu [34],[15],[17]

Při návrhu ohýbaných dílů je nutné dodržovat minimální a maximální poloměr ohybu. Minimální poloměr nesmí být takový, aby deformace krajních vláken nepřekročila hodnotu tažnosti. Maximální poloměr ohybu musí být takový, aby v krajních vláknech došlo k překročení hodnoty meze kluzu, protože by nedošlo k plastické deformaci. Poloměr ohybu má být zvolený z hlediska odpružení co nejmenší, ale vzhledem k tvárnosti a tloušťce ohýbaného materiálu co největší.

Vzorec pro minimální poloměr ohybu:

$$R_{\text{MIN}} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{\text{MAX}}} - 1 \right) = c_1 \cdot s, \quad (2.16)$$

kde: R_{MIN} [mm] – minimální poloměr ohybu
 ε_{MAX} [mm] – poměrné prodloužení
 c_1 [-] – součinitel pro ocel (volí se 0,5 až 0,6)

Vzorec pro maximální poloměr ohybu je:

$$R_{\text{MAX}} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right), \quad (2.17)$$

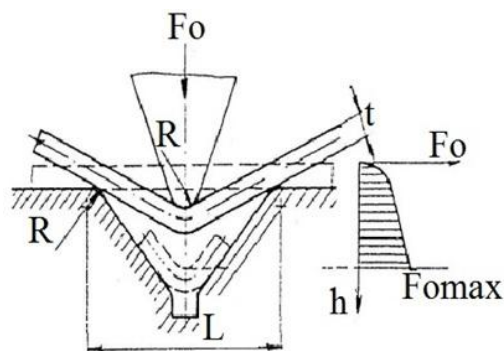
kde: R_{MAX} [mm] – maximální poloměr ohybu
 R_e [MPa] – mez kluzu

Při překročení minimálního poloměru ohybu dochází ke vzniku trhlin na vnější straně materiálu a při překročení maximálního poloměru ohybu dochází k plastickému přetvoření.

2.2.3 Síla a práce [16],[17],[27]

Ohýbanou součást si lze představit jako nosník, který je podepřený ve vzdálenosti mezi podporami. Vnější síla vyvozená strojem působí na ohybník, který dosedá svou funkční plochou na nosník a vzniká zde ohybový moment, jehož rameno je určeno vzdáleností podpěry od středu ohybníku, kde zároveň působí ohybová síla. Při pokračujícím pohybu ohybníku směrem do ohybnice dochází k postupnému ohýbání nosníku v místech, kde je ohyb požadován. Pro správný výpočet ohýbací síly se musí stanovit, do kterého tvaru se materiál ohýbá.

Při ohybu do tvaru „V” ohýbací síla prudce narůstá až do okamžiku, kdy dojde k překročení meze kluzu a poté je nárůst už pozvolný. Průběh ohýbací síly do tvaru „V” je zobrazen na obrázku 266.



Obr. 26 Průběh ohýbací síly do tvaru „V” [16]

Vztah pro výpočet ohýbací síly do tvaru „V” je uveden ve vzorci:

$$F_{\text{OV}} = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R} \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (2.18)$$

kde: F_{OV} [N] – ohýbací síla pro tvar „V”
 b [mm] – šířka plechu
 R [mm] – poloměr zaoblení
 α [°] – úhel ohybu

Vztah pro výpočet ohýbací práce do tvaru „V” je uveden ve vzorci:

$$A_v = F_c \cdot k_v \cdot h, \quad (2.19)$$

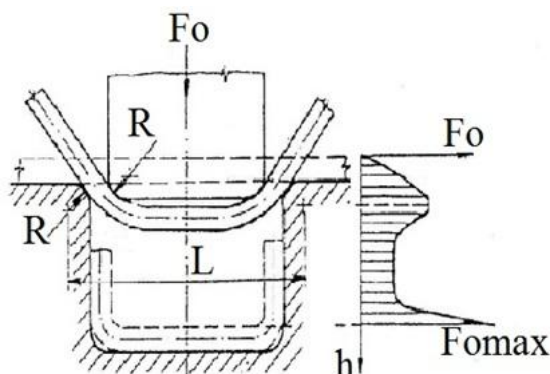
kde: A_v [J] – práce pro ohyb do tvaru „V”

F_c [N] – celková ohýbací síla

k_v [-] – koeficient průběhu pro ohyb do tvaru „V”

h [m] – zdvih

Při ohybu do tvaru „U” je podstatně nárůst ohýbací síly rychlejší a to až do míst plastických deformací. Nejvyšší hodnota nastává v okamžiku, kdy se setkají v jedné rovině středy zaoblení ohybníku a ohybnice. Průběh ohýbací síly do tvaru „U” je zobrazen na obrázku 27.



Obr. 27 Průběh ohýbací síly do tvaru „U” [16]

Vztah pro výpočet ohýbací síly do tvaru „U” je uveden ve vzorci:

$$F_{OU} = (1 + 7 \cdot \mu) \cdot \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{R + s}, \quad (2.20)$$

kde: F_{OU} [N] – ohýbací síla pro tvar „U”

μ [-] – součinitel tření

Vztah pro výpočet ohýbací práce do tvaru „U” je uveden ve vzorci:

$$A_U = F_c \cdot k_U \cdot h, \quad (2.21)$$

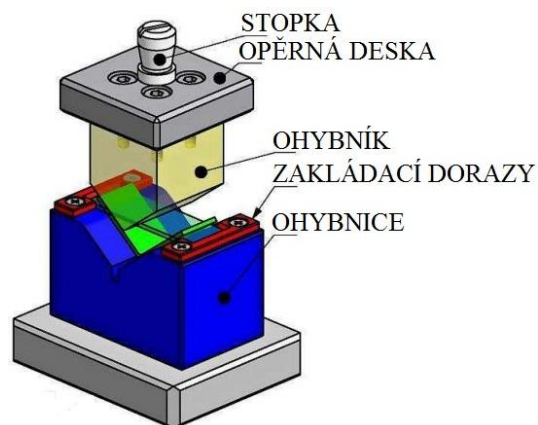
kde: A_U [J] – práce pro ohyb do tvaru „U”

k_U [-] – koeficient průběhu pro ohyb do tvaru „U”

2.2.4 Nástroj pro ohýbání [22],[43],[44],[7],[37],[39],[35],[21]

Ohýbadlo (nástroj pro ohýbání) je převážně konstruováno do tvaru „U” nebo „V” (obr. 28). Je složeno ze dvou hlavních částí nástroje - ohybníku a ohybnice. Ohýbací hrany těchto dvou hlavních částí jsou zušlechťeny a leštěny, aby bylo sníženo tření při ohybu a aby byla zvýšena životnost nástroje.

Mezi nejdůležitější faktory konstrukce ohýbacího nástroje patří nutnost zvolit konstrukci tak, aby byly eliminovány účinky odpružení a aby byla zajištěna správná poloha součástí během ohybu. U konstrukce ohýbacího nástroje je možné zvolit stejné, nebo podobné součásti jako u stříhání.



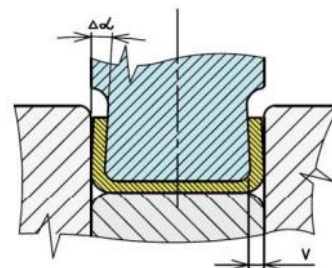
Obr. 28 Ohýbací nástroj do tvaru „V” [43],[37]

Poloha součástí se zajistí dorazy, které vystředí součást pro přesné ohýbání. Dorazy (kolíky, lišty, vyfrézované drážky apod.) jsou umístěny na nepohyblivé části nástroje (ohybnici) a jejich konstrukce musí být zvolena tak, aby nedocházelo k narušování správné funkce nástroje. Minimální výška dorazů musí být alespoň 1,5 mm, ale měla by být minimálně rovna tloušťce ohýbaného materiálu. Pro snadné zakládání materiálu pro ohýbání je možno zešíkmit dorazy pod úhlem 30°.

Jestliže je požadováno, aby byla u výrobku vyšší přesnost a nebo je výrobek vyráběn ve vyšších sériích, je nutné použít vodící stojánky, které ovšem nejsou určeny k zachycení bočních posuvových sil (řešením je ve vhodně zvolené konstrukci nástroje). Pokud je k vedení nástroje použit stojánek, je základová a opěrná deska nahrazena deskami stojánku.

Jestliže součást po ohnutí zůstává v nástroji, nebo je požadováno usnadnění manipulace materiálu, je vhodné použít vyhazovač materiálu. Vyhazovač se pomocí síly ohybníku stlačí na pružině a při zpětném chodu ohybníku se pružina vrátí do původní polohy a tím dostane součást z ohybnice pryč.

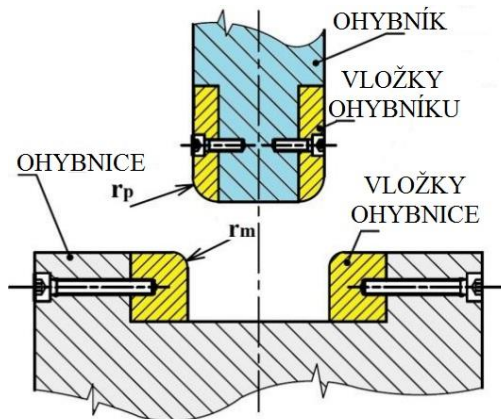
Při konstrukci je zapotřebí minimalizovat, nebo úplně odstranit odpružení. Odpružení je možné vyřešit použitím kalibračního úhlu na ohybníku, podbroušením pohyblivé části čelisti o úhel (obr. 29), zaoblením dolní strany pohyblivé čelisti a přidržovače poloměrem R, postupným ohýbáním v upravené ohybnici a podobně.



Obr. 29 Podbroušení ohybníku [21],[7]

• Ohybník

Je pohyblivá čelist, která působí na ohýbaný materiál silou. Materiály, z kterých je vyroben jsou slinuté karbidy, nebo nástrojové oceli (19 191, 19 312, 19 436, 19 437), které jsou zušlechťeny na HRC = 55 až 60. Jeho šířka musí být minimálně taková, jako je šířka ohýbané součásti a poloměr zaoblení ohybníku je stejný jako poloměr součásti (pokud není jinak upraven pro eliminaci odpružení). Jestliže pro úsporu nástrojové oceli není výhodné vyrobit ohybník z jednoho kusu, lze použít ohýbací vložky vyrobené z kalené oceli (obr. 30). Ohybník je za pomoci stopky upnut do beranu lisu. Poloměr zaoblení ohybníku (r_p) je totožný s tvarem ohýbané součásti a musí se zde respektovat, aby nedošlo k překročení minimálního a maximálního poloměru ohybu.



Obr. 30 Zobrazení ohybníku a ohybnice s vložkami [21],[7]

• Ohybnice

Je pevná čelist, která je z konstrukčního hlediska složitější než ohybník a bývá vyrobena ze stejných materiálů jako ohybník. Pro úsporu nástrojových materiálů je také možnost výroby s vložkami (obr. 30). Rozměry ohybnice jsou dány rozměry součásti a její složitostí. Velikost zaoblení na činné části závisí na tloušťce materiálu a rameni součásti. Zaoblení náběhových hran ovlivňuje velikost ohýbací síly a jakost ohybu. Poloměr zaoblení hran ohybnice (r_M) je volen dvou až šestnásobek tloušťky polotovaru a má významný vliv na ohýbací sílu a na jakost povrchu ohýbané součásti.

Vzorec pro poloměr zaoblení ohybnice je zobrazen ve vzorci:

$$r_M = (2 \text{ až } 6) \cdot s, \quad (2.22)$$

kde: r_M [mm] – poloměr zaoblení ohybnice

- **Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí**

Mezi ohybníkem a ohybnicí je nutné dodržet při konstrukci velikost optimální vůle. Velikost vůle při ohýbání závisí na tloušťce ohýbané součásti, na druhu materiálu a na délce ohýbaného okraje. Její velikost je závislá na druhu a určení konkrétního ohýbadla, přičemž tato vůle ovlivňuje velikost ohýbací síly, kde platí pravidlo, čím menší je vůle, tím větší je ohýbací síla.

Pro ohyb do tvaru „V” je vůle mezi ohybníkem a ohybnicí rovna tloušťce ohýbané součásti. Pro ohyb do tvaru „U” je vůli nutno vypočítat ze vzorce:

$$v_0 = (1,05 \text{ až } 0,15) \cdot s, \quad (2.23)$$

kde: v_0 [mm] – vůle mezi ohybníkem a ohybnicí

2.4 Stroje a zařízení [44],[57],[38],[37]

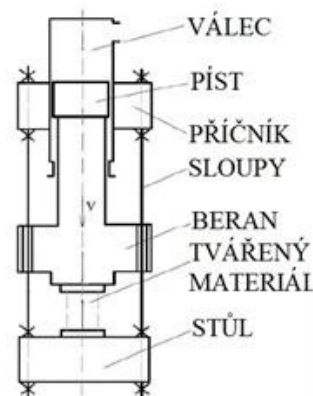
Pro střihání a ohýbání je nutné zvolit vhodný tvářecí stroj. Tvářecí stroj slouží k realizaci technologického tvářecího procesu, který je veden k trvalým přetvořením polotovaru, které je vyvoláváno pohonnou jednotkou stroje.

V praxi by byl stroj volen podle strojní vybavenosti podniku, aby byly co neménší náklady na výrobu, kde jako důležitá kritéria pro volbu tvářecího stroje by byly podstatné údaje o rozměrech tvářené součásti, počtu vyráběných kusů, potřebné jmenovité tvářecí síle, potřebném zdvihu a sevření.

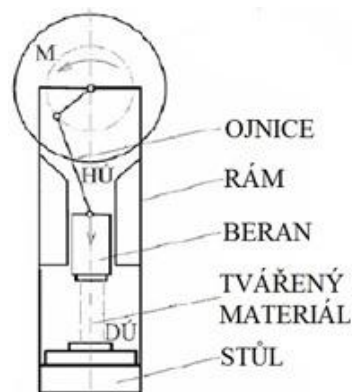
Při tváření je připevněna nepohyblivá část nástroje na stůl se zpracovávaným polotovarem a do beranu, který vykonává přímočarý vratný pohyb mezi dolní a horní úvratí stroje je upnuta pohyblivá část stroje. Beran s pohyblivou částí stroje začíná v horní úvratí stroje nulovou rychlostí, odkud zrychluje do okamžiku kontaktu s materiálem a následně končí v dolní úvratí, kdy je jeho rychlost opět nulová. Beran musí mezi těmito úvratěmi vyvinout dostatečnou energii pro přetvoření polotovaru.

Z hlediska vyvinutí energie jsou tvářecí stroje rozdělovány na silové (obr. 31), energetické a zdvihové (obr. 32).

Silové tvářecí stroje (hydraulický lis) působí na polotovar klidnou silou, která je konstantní na celém zdvihu beranu a má malou rychlost. Výhody jsou možnost vyvození pracovní síly při jakémkoliv zdvihu, konstantní rychlost beranu a možnost nastavení pracovní rychlosti. Nevýhody jsou vyšší náklady, složitější konstrukce a pomalý chod beranu.



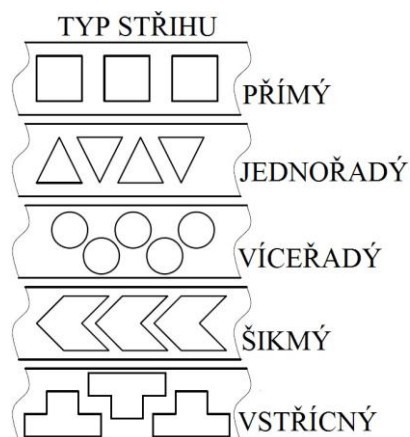
Obr. 31 Schéma silového lisu [38]



Obr. 32 Schéma zdvihového lisu [38]

Stroje zdvihové (mechanické) využívají energii kinetickou, tak i energii potencionální. Patří mezi ně lisy klikové, výstředníkové a kolenové. U zdvihových strojů je síla, která je vyvozena klikovým mechanismem a rychlost beranu závislá na jeho zdvihu. Mezi výhody tohoto typu stroje patří jednoduchost strojů, velká výrobnost, tvářecí síla dostupná až těsně před dolní úvratí. Nevýhodou je nutnost zkontrolovat lis z hlediska přetížení, aby nedocházelo k zastavení a poškození.

2.5 Technologičnost součásti [23],[5],[34],[17],[41],[6]



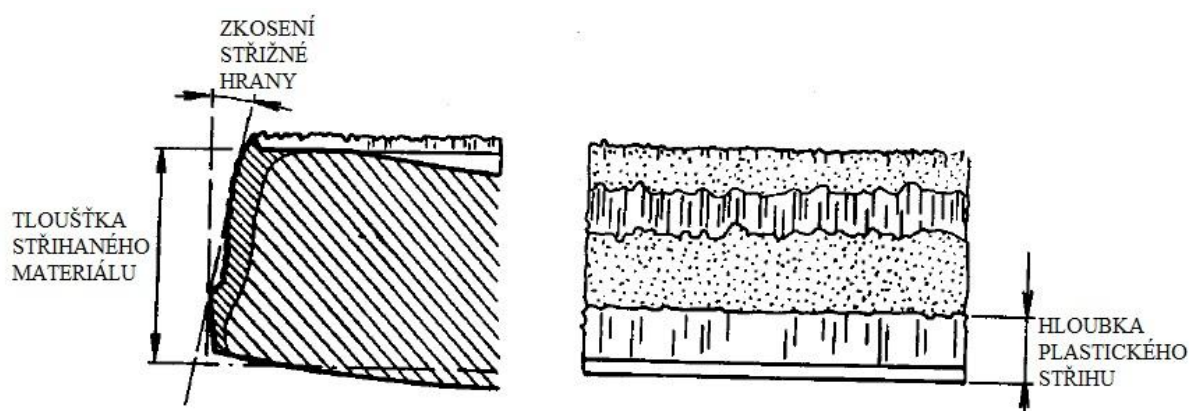
U postupového stříhání je potřebné dosáhnout vysokého hospodárného využití materiálu a je zapotřebí zaručit co nejvyšší využití výchozího materiálu, čímž je možno dosáhnout vyřešením nástřihových plánů a poté zvolení toho nejvýhodnějšího. Výstřižek je stříhaná součást nebo polotovár, která je určena pro další zpracování. Výstřižek by měl být tak technologicky navržen a umístěn na tabuli materiálu tak, aby se maximálně využila plocha materiálu a tím zvýšilo využití materiálu, čímž se zmenší velikost odpadu. Výstřižky by mohly být kombinovány při zpracovávání stříhacího plánu mnoha způsoby. Tyto možnosti kombinace jsou zobrazeny na obrázku 33.

Obr. 33 Možné způsoby kombinování výstřižku [23]

Při stříhání vznikají na výstřižku a na ploše výstřižku chyby, které budou muset být respektovány. Vzhled střížné plochy je zobrazen na obrázku 34. Problémy výstřižků jsou:

- Dochází k zešikmení střížné plochy. Toto zešikmení je způsobeno díky mezeře mezi břity. Při opotřebení stříhadla se zešikmení střížné plochy zvětšuje.
- Dochází k prohnutí některých výstřižků ohybovým momentem, který je způsoben oběma složkami střížných sil.
- U výstřižku dochází k zeslabení tloušťky plechu podél střížné plochy.
- Dochází k rozdílným odchylkám výstřižků, kde jsou odchylky způsobeny hlavně opotřebením stříhadla, výrobou, zešikmením střížné plochy a v malé míře i odpružením.
- Je nutno vědět, že drsnost střížné plochy je tvořena z větší části lomem.

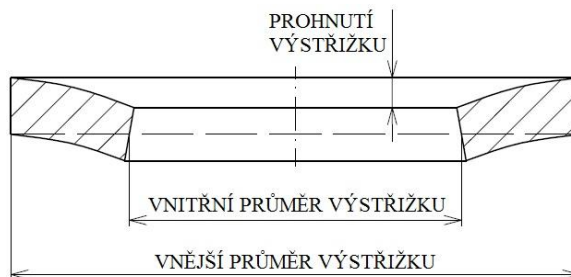
Z těmito problémy výstřižků vyráběných na postupových stříhadlech je zapotřebí počítat. Pokud by nám tyto problémy byly nevyhovující pro výrobu, muselo by být zabráněno uvedeným nedokonalostem, například zvolením jiným způsobem stříhání, kde by bylo možné použít například přesné stříhání, přistřihování, kalibrování a podobně, kde by ovšem byly zvýšeny výrobní náklady, přičemž největší náklady by byli v dražším nástroji a přídatných operacích.



Obr. 34 Vzhled střížné plochy [23]

Pro výrobu je zapotřebí dodržet určitá pravidla, aby bylo možné výstřížek vyrobit. Mezi základní pravidla patří technologičnosti patří:

- a) Nemělo by být uvažováno aby tolerance rozměrů byla pod mez, které lze dosáhnout při běžné práci dobré lisovny. Pro stříhání materiálu za studena je dosahovaná přesnost IT 9 až IT 12 a při použití speciálních nástrojů stříháme ve stupni přesnosti IT 6 až IT 8. Je nutno připomenout, že se tolerance vztahují na rozměry výstřížku vzhledem k výkresu. Výstřížky, které jsou porovnávány navzájem jsou téměř shodné. Jejich rozměry se mohou měnit vlivem opotřebení nástroje.
- b) Není-li střížná plocha funkční plochou součásti, je doporučeno, aby její drsnost a její kolmost k ploše plechu nebyla předepisována. Při obvyklém stříhu má střížná plocha část, která odpovídá plastickému stříhu. Tato plocha je do hloubky, která je od 0,1 až 0,6 násobku tloušťky stříhaného materiálu. Drsnost této plochy bývá z pravidla $Ra = 0,8$ až $3,2$. Další části střížné plochy je plocha vytvořená lomem, která má z pravidla drsnost $Ra = 3,2$ až $6,3$ a tato plocha bývá zkosená úhlem. Tento úhel s názvem zkosení střížné hrany je zobrazen v obrázku 34. Tento úhel bývá z pravidla od 1° do 6° a vliv na jeho velikost má střížná vůle, otupení a opotřebení nástroje. Otupení nástroje je při stříhání nežádoucí jev a způsobuje vznik otřepu. Tento otřep se připouští do výšky přibližně 0,1 mm. Řešení je takové, že otřep by se mohl odstranit omíláním v bubnu, seškrábnutím a podobně. Při vzniku otřepu a následném odstranění otřepu nám ale přibývají operace, které zdražují výrobní náklady na vyráběnou součást. Ještě nesmí být zapomenuto na zpevnění materiálu na střížné ploše, které bývá v rozmezí od 0,1 až 0,2 násobku tloušťky materiálu.
- c) Jestliže je rovný výstřížek, může dojít k jeho porušení rovinnosti vlivem ohybového momentu dvojice střížných sil. Toto pravidlo technologičnosti platí spíše pro malé výstřížky z tlustých plechů větší tvárnosti. Deformace výstřížků způsobená ohybem je zobrazena na obrázku 35.



Obr. 35 Deformace výstřížků způsobená ohybem [23]

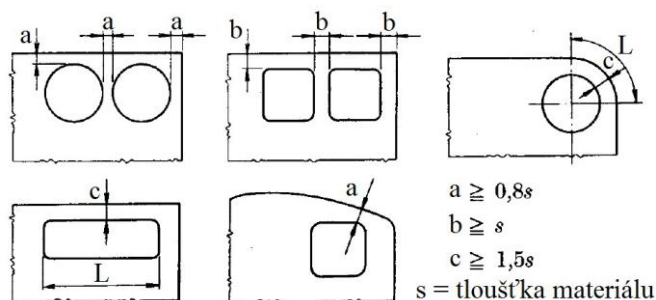
- d) Nejmenší velikost otvorů, které je možno postupovým stříhadlem prostříhnout jsou uvedeny v tabulce 3 a tato velikost mimo jiné závisí také na tloušťce materiálu a druhu materiálu.

Tab. 3 Hodnoty nejmenší velikosti otvorů pro výrobu stříháním [23]

Materiál	Obvyklé děrování		Děrování vedeným střížníkem a s přidržovačem	
	Průměr kruhového otvoru	Šířka obdélníkového otvoru	Průměr kruhového otvoru	Šířka obdélníkového otvoru
Hliník, měkká ocel	0,8	0,6	0,3	0,25
Mosaz	1	0,8	0,35	0,3
Tvrdá ocel	1,5	1,2	0,5	0,4

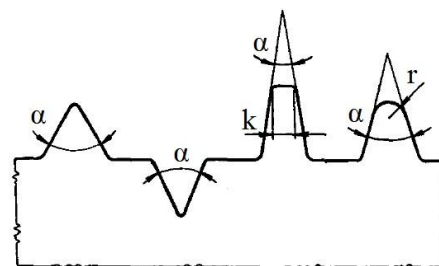
- e) Otvorům kruhového průřezu je potřeba vždy dát přednost.

- f) Vzdálenost mezi otvory a vzdálenost otvorů od okraje výstřižku musí být minimálně nějakou určitou vzdálenost. Vzorce a schéma těchto hodnot jsou zobrazeny na obrázku 36.



Obr. 36 Vzdálenost mezi otvory a vzdálenost otvorů od okraje [23]

- g) U obrysu výstřižku kde jsou rohy by měl být sražený nebo zaoblený. Vzniká-li obrys postupným stříháním, mělo by zde nastat sražení pod 45°. Poloměr zaoblení rohů při uzavřeném stříhu by měl být tím větší, čím je roh ostřejší. Pro tvrdost stříhaného materiálu je doporučeno určit nejmenší úhel rohu. Zmenšit úhel rohu je možné, je-li roh zaoblen větším poloměrem $r > 0,5$ násobek tloušťky materiálu, nebo zkosen $k > \text{tloušťka materiálu}$. U vnějších rohů se tloušťka plechu u vrcholu zeslabuje tím víc, čím je úhel menší, plech tlustší a materiál tvárnější. Touto vadou netrpí vnitřní rohy, avšak jsou-li příliš ostré, vyžaduje výroba nástroje velkou péči, obzvláště tehdy, jestli není dělaná střížnice. Velkým problémem je zde zajistit přesnost rozměrů výstřižků, kde kolísají nepřesnosti vlivem podávání. Nejmenší dovolené sražení a zaoblení pro obrys výstřižku je zobrazen na obrázku 37 a hodnoty nejmenších dovolených úhlů jsou zobrazeny v tabulce 4.

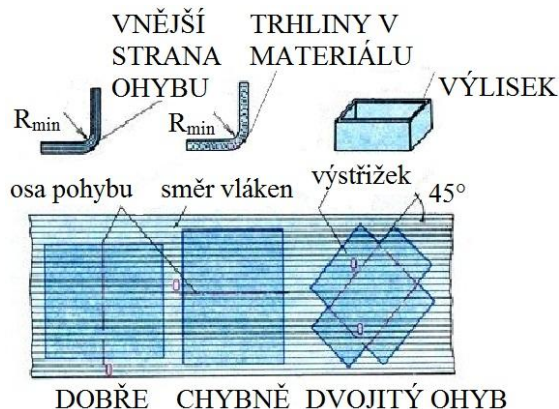


Obr. 37 Sražení a zaoblení pro obrys výstřižku [23]

Tab. 4 Hodnoty nejmenších dovolených úhlů pro sražení a zaoblení obrysu výstřižku [23]

Pro tvrdé plechy	$\alpha \geq 90^\circ$	$\sigma_{PT} > 600 \text{ MPa}$
	$\alpha \geq 60^\circ$	$\sigma_{PT} > 300 \text{ MPa}$
Pro měkké plechy	$\alpha \geq 60^\circ$	$\sigma_{PT} > 300 \text{ MPa}$
	$\alpha \geq 45^\circ$	$\sigma_{PT} < 300 \text{ MPa}$

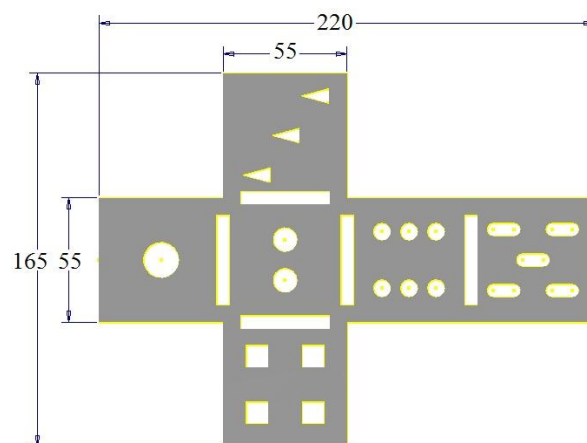
Při ohýbání se musí dávat pozor na technologické problémy ohýbání. Mezi časté technologické problémy ohýbání patří praskání materiálu a tvoření vln. Praskání materiálu vzniká pomocí trhlin na vnější straně a praskání nastává v momentě, kdy dojde k překročení kritické hodnoty poloměru ohybu R/t , což může být způsobeno zpevněním materiálu, vlastností materiálu (tváření za studena, žíhaný, apod.) a průběhem vláken. Osa ohybu by měla být kolmá na směr vláken materiálu (odpružení je ale větší) nebo minimálně pod úhlem 30° a u dvojitého ohybu mají být vlákna materiálu k ose ohybu v úhlu kolem 45°. Na obrázku 38 je zobrazen vliv vláken na ohýbání. Tvoření vln vzniká hlavně u tenkých stěn a tvoření vln se dá zabránit bočním přitlačováním materiálu k nástroji nebo použitím dostatečně tahové síly při ohýbání.



Obr. 38 Vliv vláken na ohýbání [34]

3 NÁVRH VÝROBY [23],[5],[10],[26],[40],[63]

Pro výrobu součásti byla zvolena jako nejvhodnější technologie výroby stříhání na postupovém stříhadlu a následné ohýbání. Polotovar je možno zvolit jako svitek plechu a nebo plechovou tabuli. Součást je zadána v rozvinutém tvaru (obr. 39), přičemž rozměry rozvinutého tvaru jsou: délka 220 mm a šířka 165 mm. Materiál reklamní hrací kostky je konstrukční běžná ocel obvyklé jakosti 11 373 a požadovaná velikost výrobní série je 5 000 kusů za rok.

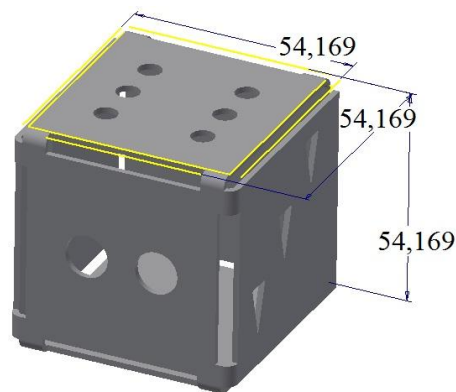


Obr. 39 Rozvinutý tvar reklamní hrací kostky

Protože rozměry součásti byly zvoleny v rozvinutém tvaru, bude mít vyrobená součást délku hrany 54,169 mm, která byla stanovena v programu Autodesk Inventor 2013. Tyto rozměry jsou zobrazeny na obrázku 40 a pro kontrolu vypočítány v příloze číslo 5.

Z hlediska zvoleného materiálu je zapotřebí provést povrchovou úpravu, aby byla zlepšena odolnost proti korozi a aby byly zlepšeny vlastnosti materiálu. Pro reklamní hrací kostku byla zvolena jako povrchová úprava alkalické černění, jejíž cílem je zlepšení vzhledu a zvýšení korozní odolnosti černěné součásti.

Princip alkalického černění spočívá v tom, že se povrchově upravovaná součást ponoří do vařícího alkalického roztoku. V první fázi černicího procesu se kov v lázni rozpouští a následně za probíhající oxidace-redukce pochodu z přesyceného roztoku chemicky proměněného kovu vylučuje na povrchu součásti černou oxidickou vrstvu, jejíž tloušťka bývá okolo 0,001 mm.



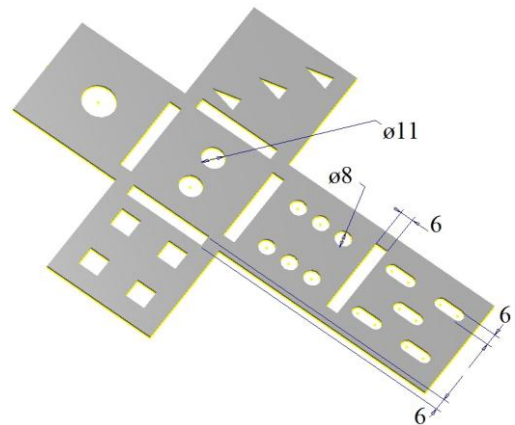
Obr. 40 Složený tvar reklamní hrací kostky

Pomocí pravidel technologičnosti je nutné kostku zkontrolovat, aby nenastali při její výrobě problémy. Je zapotřebí vědět, že u vyráběné součásti by mohlo dojít k zešíkmení střížné plochy, k mírnému prohnutí výstřižků, k zeslabení tloušťky plechu podél střížné plochy, k nepravidelné drsnosti střížné plochy, která bude tvořena z větší části lomem a k rozdílným odchylkám výstřižků. Všechny tyto možné chyby výstřižků jsou respektovány a zváženy pro výrobu kostky za přijatelné. Pro vyráběnou součástku nebude muset být zvolena další technologie na dokončení, čímž dojde k ušetření výrobních nákladů.

- Na výkresu výstřižku v rozvinutém tvaru, který je uveden v příloze 1 a který je kompletně zakótován tak, aby byl plně určen nejsou žádné tolerované rozměry, což znamená, že tolerance rozměrů se nemusí řešit.
- U vyráběné součástky není střížná plocha funkční plochou součásti. Plocha plastického stříhu bude z drsností $R_a = 0,8$ až $3,2$ a velikost této plochy může být v rozmezí 0,15 mm až 0,9 mm. Další střížná část tvořená lomem bude mít drsnost $R_a = 3,2$ až $6,3$ a tato střížná plocha bude zkosená pod úhlem 1° až 6° . Mohl by zde vzniknout ořep při velkém otupení nástroje, protože velikost výrobní série pro reklamní hrací kostku je 5 000 kusů za rok a nástroj by se mohl otupit. Proto kdyby

nastal otřep, bylo by zvoleno vzhledem k velké výrobní sérii omílání otřepu v bubnu. Ještě je nutné zohlednit zpevnění materiálu na střižné ploše, které by se mělo u reklamní hrací kostky pohybovat od 0,15 mm do 0,3 mm.

- c) Pro vyráběnou součást musí být počítáno s tím, že dojde k porušení rovinnosti, vlivem ohybového momentu dvojice střižných sil.
- d) Je zapotřebí dát pozor na nejmenší velikost otvorů, které jsou možné běžným nástrojem prostříhnout. Nejmenší kruhový průřez je průměr 8 mm a nejmenší možná šířka obdélníkového otvoru je 6 mm. Tyto hodnoty musíme srovnat s tabulkou 3, která je umístěná v podkapitole 2.5. Po kontrole s tabulkou je vyhodnoceno, že průměr 8 mm a obdélníkový otvor 6 mm vyhovují z hlediska nejmenších velikostí otvorů a součást je z tohoto hlediska vyrobitelná. Nejmenší velikosti otvorů u reklamní hrací kostky, které byly porovnávány s tabulkou jsou zakótovány na obrázku 41.



Obr. 41 Nejmenší velikosti otvorů

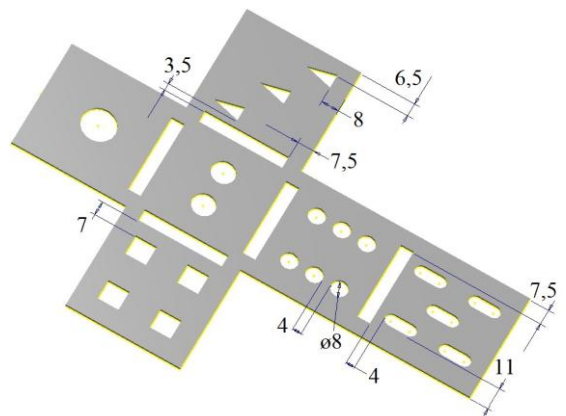
- e) Musí se vypočítat minimální hodnoty mezi otvory a vzdálenost od okraje výstřižku, kde s je tloušťka materiálu a vychází se z obrázku 36.

$$a \geq 0,8 \cdot s \rightarrow a \geq 0,8 \cdot 1,5 \rightarrow a \geq 1,2 \text{ [mm]}$$

$$b \geq s \rightarrow b \geq 1,5 \rightarrow b \geq 1,5 \text{ [mm]}$$

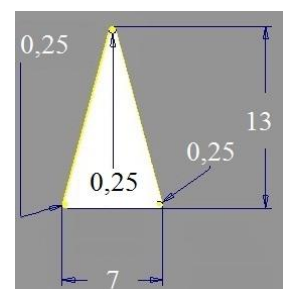
$$c \geq 1,5 \cdot s \rightarrow c \geq 1,5 \cdot 1,5 \rightarrow c \geq 2,25 \text{ [mm]}$$

Vzdálenost mezi kruhovými otvory a vzdálenost kruhových otvorů od okraje musí být větší nebo rovno 1,2 mm. Vzdálenost mezi čtvercovými a obdélníkovými otvory a vzdálenost od čtvercových a obdélníkových otvorů musí být od okraje větší nebo rovno než je 1,5 mm. Vzdálenost od kruhového průřezu po rádius obrysu výstřižku musí být větší nebo rovno 2,25 mm. V obrázku 42 jsou okótovány místa s největším rizikem porušení minimálních vzdáleností, přičemž jsou všechny tyto vzdálenosti vyhovující a nepotřebují změny.



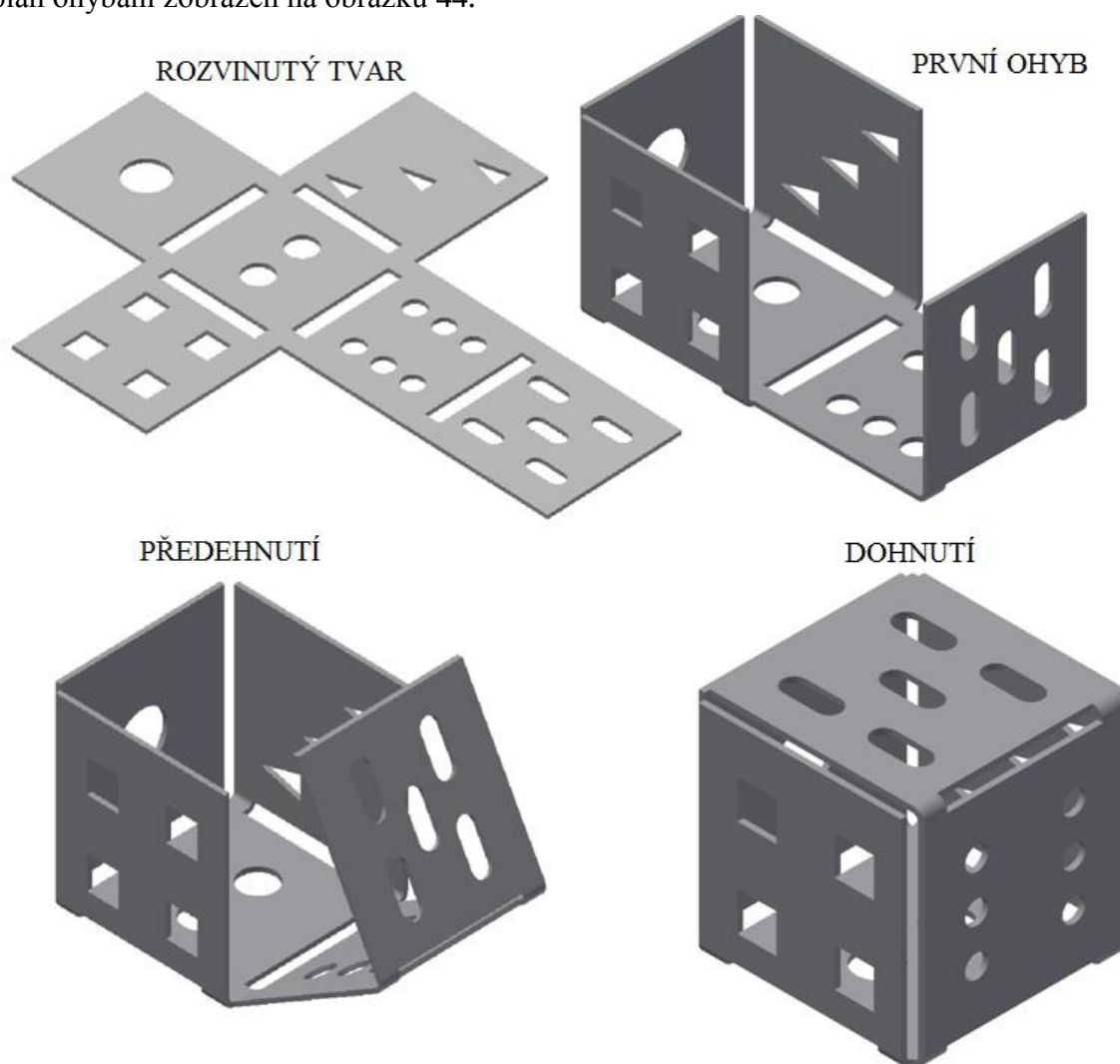
Obr. 42 Nejmenší vzdálenosti otvorů od sebe

- f) Součást má vnitřní rohy zaobleny, které jsou zobrazeny na obrázku 43, kde je detailní zobrazení trojúhelníkového otvoru. U tohoto střižníku a otvoru v střižnici je za potřebí, aby byl střižník a otvor ve střižnici vyráběn s velkou péčí. Za problém zde bude zajistit přesnost rozměrů výstřižku. Pro součást nehraje přesnost rozměrů žádnou roli, takže přesnost rozměrů výstřižku je považována za zanedbatelnou a dílec je vyhovující.



Obr. 43 Trojúhelníkový otvor

Po vystřihnutí otvorů a obrysů bude výstřižek vložen do lisovacího stroje s ohýbacím nástrojem, kde dojde k prvnímu ohybu z rozvinutého tvaru. Po tomto ohnutí bude výlisek vložen do nástroje číslo 2, kde výlisek bude z prvního ohnutí předehnut a poté bude předehnutý výlisek dohnut do požadovaného výsledného tvaru. Pro lepší představivost je plán ohýbání zobrazen na obrázku 44.



Obr. 44 Pořadí ohýbání reklamní kostky

Pro ohýbání také platí základní pravidla technologičnosti, které by měli být dodrženy, aby bylo zamezeno technologickým problémům jako je praskání materiálu na vnější straně a zvlnění materiálu na vnitřní straně. Pro dvojitý ohyb by měla být vlákna k ose ohybu přibližně pod 45° , což u reklamní hrací kostky, která je před ohýbáním vystřižena a směr vláken už je určen, nebude toto pravidlo dodrženo.

3.1 Volba nástřihového plánu [19],[54],[21]

Pro výrobu reklamní hrací kostky je možno zvolit jako polotovar svitek plechu a nebo plechovou tabuli.

- Svitek plechu

Svitek (obr. 45) je nutno před tvářecími operacemi do postupového stříhadla nejdříve narovnat. Z tohoto důvodu by musela být před výrobní stroj zařazena odvíjecí, rovnací a podávací zařízení a jelikož je předpokládáno, že toto zařízení není ve výrobním podniku a muselo by být zakoupeno, čímž by vzrostly celkové investiční náklady výroby.

- Tabule plechu

Plech je nutno před tvářecími operacemi nejdříve na hydraulických nůžkách nastříhat na pásy a poté ručně tyto pásy vkládat do postupového stříhadla, čímž dojde k velké ztrátě výrobního času.

Jako polotovár byla zvolena tabule plechu, protože hydraulické nůžky na rozdíl od odvíjecího, rovnacího a podávacího zařízení patří do vybavení strojního podniku.

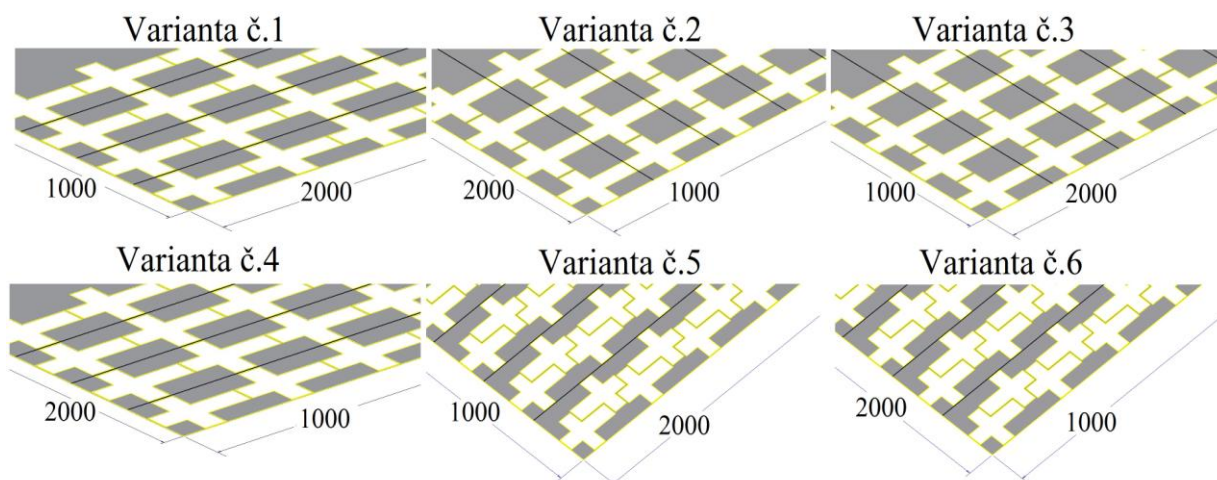
Z normy ČSN EN 10131 byly zvoleny tři základní velikosti plechů pro varianty nástřihového plánu. Rozměry plechů byly zvoleny:

- A) 2000 x 1000 x 1,5 mm;
- B) 2500 x 1250 x 1,5 mm;
- C) 3000 x 1500 x 1,5 mm;

Pro výpočty procentuálního využití plechu a spotřeby materiálu je nutno znát plochu a obvod výstřižku. Tyto hodnoty byly zjištěny z programu Autodesk Inventor Professional 2013 a pro jistotu byly následně překontrolovány v programu Autocad 2008, aby nedošlo k chybným výpočtům. Plocha výstřižku byla změřena 18 150 mm² a obvod výstřižku byl změřen 770 mm. Pro každé rozměry plechu bylo vypočítáno 6 různých variant umístění výstřižků (celkově tedy 18 možných variant).

Pro všechny rozměry plechu bylo vypočítáno procentuální využití tabule. Největší využití materiálu vyšlo u plechu 2000 x 1000 x 1,5 mm. Tyto kompletní výpočty pro plech o rozměrech 2000 x 1000 x 1,5 jsou uvedeny v příloze 7.

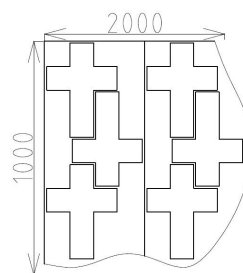
Výsledná varianta s největším využitím materiálu a tedy varianta nejekonomičtější a zvolená je varianta označená číslem 6 (obr. 45).



Obr. 45 Schématické znázornění variant pro plech o rozměrech 2000 x 1000 x 1,5 mm

Pro každou variantu nástřihového plánu je zapotřebí z tabulky, která je umístěna v příloze 8 a její název je směrnice pro stanovení šířky odpadu určit velikost můstku a velikost okraje. Velikost můstku má označení „e“ a velikost okraje má označení „f“.

Nejvýhodnější variantou vyšla varianta zobrazena na obrázku 46, která má velikost můstku 4,5 mm a velikost okraje 5,4 mm.



Obr. 46 Nejvýhodnější varianta

- Šířka okraje pásu:

$$F = 2.f = 2 \cdot 5,4 = \underline{10,8 \text{ mm}} \quad (3.1)$$

- Velikost kroku:

$$K = D_s + e + \check{S}_{JS} + e = 220 + 4,5 + 55 + 4,5 = \underline{284 \text{ mm}} \quad (3.2)$$

- Šířka pásu plechu:

$$\check{S}_{pp} = \check{S}_s + e + \check{S}_{JS} + F = 165 + 4,5 + 55 + 10,8 = \underline{235,3 \text{ mm}} \quad (3.3)$$

- Počet pásů z tabule:

$$P_{pzt} = \frac{D_p}{\check{S}_{pp}} = \frac{1000}{235,3} = \underline{4,25 \text{ ks}} \quad (3.4)$$

→ z tabule budou vyrobeny 4 pásy.

- Počet výstřížků z pásu:

$$P_{vzt} = \frac{(2000 - e)}{K} \cdot 2 = \frac{(2000 - 4,5)}{284} \cdot 2 = \underline{14,05 \text{ ks}}. \quad (3.5)$$

→ z pásu bude vyrobeno 14 výstřížků.

- Počet výstřížků z jedné tabule:

$$P_{v1t} = P_{pzt} \cdot P_{vzt} = 4 \cdot 14 = \underline{56 \text{ ks}} \quad (3.6)$$

→ z jedné tabule plechu bude vyrobeno 56 výstřížků.

- Procentuální využití tabule:

$$P_v = \frac{S_{výr}}{S_{tab}} \cdot 100 = \frac{18150,6}{2000 \cdot 1000} \cdot 100 = \underline{50,82 \%} \quad (3.7)$$

→ procentuální využití tabule je 50,82 %.

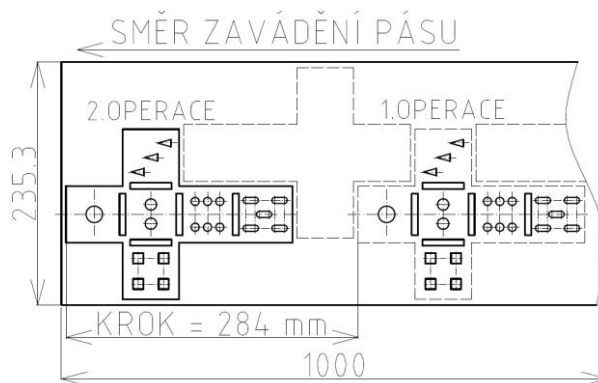
Pro výslednou variantu vyšla šířka okraje pásu 10,8 mm, velikost kroku 284 mm a velikost šířky pásu plechu 235,3 mm, přičemž budou vystříženy 4 pásy z tabule plechu a bude vyrobeno 14 kusů z jednoho pásu, to je celkově 56 kusů z tabule plechu. Procentuální využití zvolené metody vyšlo 50,82%. Přehled využití materiálu pro ostatní varianty je uveden v tabulce 5.

Tab. 5 Přehled výsledků pro varianty nástřihového plánu

	Plech 2000 x 1000 x 1,5 mm					
Varianta	1	2	3	4	5	6
Šířka okraje pásu	8,6	10,8	10,8	8,6	10,8	10,8
Velikost kroku	223,5	169,5	169,5	223,5	284	284
Šířka pásu plechu	173,6	230,8	230,8	173,6	235,3	235,3
Počet pásů z tabule	11	8	4	5	8	4
Počet výstřížků z pásu	4	5	11	8	7	14
Počet výstřížků z tabule	44	40	44	40	56	56
Procentuální využití	39,93	36,30	39,93	36,30	50,82	50,82

Nejvýhodněji vyšel plech o rozměrech 2000 x 1000 x 1,5 mm. Celkově pro tento plech bylo vypočteno šest možných variant nástřihových plánů. Pro každou variantu bylo vypočítáno procentuální využití tabule. Jako nejvýhodnější varianta byla zvolena varianta číslo 6 (obr. 47), protože je zde největší procentuální využití materiálu s variantou číslo 5 a oproti variantě číslo 5 má pouze 4 pásy, kde díky menšímu počtu pásu bude ušetřen čas na stříhání pásů plechu a vkládáním a vykládáním pásu plechu do postupového stříhadla.

Při řezání tabule na pásy plechu je nutné dodržet pravidlo, aby nejdříve byla odřezána přebytečná část tabule (22 mm) na konci délky pásu plechu (1000 mm). Odřezání přebytečné části je zapotřebí provést proto, aby při postupovém stříhání mohly správně navazovat dorazy, čímž dojde k úspoře času a zefektivnění výroby.



Obr. 47 Volba nástřihového plánu se zobrazením směru zavádění pásu

➤ Spotřeba materiálu:

Pro zvolenou variantu nástřihového plánu, tedy konkrétně pro variantu číslo 6 budou počítány vzorce pro zjištění spotřeby materiálu pro výrobní dávku reklamní hrací kostky 5 000 kusů za rok. Pro výpočty budeme muset znát hustotu stříhaného materiálu, tedy hustotu pro ocel 11 373, která je $7,8 \text{ kg/dm}^3$.

- Počet tabulí potřebných na dávku:

$$P_{pt} = \frac{P_{kjd}}{P_{vlt}} = \frac{5000}{56} = \underline{89,29 \text{ ks}} \quad (3.8)$$

→ Potřeba je zvolit 90 kusů tabulí, aby bylo možné dávku vyrobit.

- Objem tabule:

$$V = \text{š}_T \cdot l_T \cdot s_T = 20 \cdot 10 \cdot 0,015 = \underline{3 \text{ dm}^3} \quad (3.9)$$

- Hmotnost tabule:

$$m_{TAB} = \rho \cdot V = 7,85 \cdot 3 = \underline{23,55 \text{ kg}} \quad (3.10)$$

- Celková spotřeba materiálu:

$$m_{csm} = P_{pt} \cdot m_{TAB} = 90 \cdot 23,55 = \underline{2\,119,5 \text{ kg}} \quad (3.11)$$

Pro sérii 5 000 kusů za rok je zapotřebí 90 kusů tabulí plechu o rozměrech 2000 x 1000 x 1,5 mm. Objem jedné tabule činí 3 dm^3 a hmotnost jedné tabule činí 23,55 kg. Celková spotřeba materiálu pro sérii 5 000 kusů váží 2 119,5 kg.

3.2 Výpočet střižné části [21],[11],[62]

➤ Výpočet síly

Součást je vyráběna z oceli 11 373, která má mez pevnosti 370 MPa. Další veličinou, kterou je zapotřebí znát, je součinitel otupení nástroje, který se pohybuje v rozmezí od 1,2 do 1,55. Pro reklamní hrací kostku a požadovanou výrobní sérii 5 000 kusů za rok byl zvolen tento součinitel 1,2. Další nutnou veličinou je délka stříhu. Délka stříhu byla zvolena pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2013 a tyto hodnoty pro délky stříhu jsou uvedeny v tabulce 6. Střižná síla pro každý tvar bude vypočítána podle vzorce, který je uveden ve vzorci (2.3) a následně bude vypočítána celková střižná síla pro stříhání reklamní hrací kostky.

Tab. 6 Délka stříhu pro jednotlivé otvory

Název	Délka stříhu [mm]	Počet střižných sil
Ø 16 mm (l_{16})	50,265 (1x)	1
dvakrát Ø 11mm (l_{11})	34,558 (2x)	2
tři trojúhelníky (l_{TRO})	33,926 (3x)	3
čtyři čtverce (l_{CTV})	40,000 (4x)	4
pět obdélníkových otvorů se zaobleným koncem (l_{OBD})	36,850 (5x)	5
šestkrát Ø 8 mm (l_8)	25,133 (6x)	6
pět obdélníků mezi hranami (l_{OBDMH})	92,000 (5x)	5
pro obrys součásti (l_{SOUC})	770,000 (1x)	1

- Střížná síla pro $\varnothing$ 16 mm:
 $F_{s1} = n \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot l_{16} \cdot s = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 370 \cdot 50,265 \cdot 1,5 = \underline{26\,781,2\text{ N}}$
- Střížná síla pro $\varnothing$ 11 mm:
 $F_{s2} = n \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot l_{11} \cdot s = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 370 \cdot 34,558 \cdot 1,5 = \underline{18\,412,5\text{ N}}$
- Střížná síla pro trojúhelníkový otvor:
 $F_{s3} = n \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot l_{TRO} \cdot s = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 370 \cdot 33,926 \cdot 1,5 = \underline{18\,075,8\text{ N}}$
- Střížná síla pro čtvercový otvor:
 $F_{s4} = n \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot l_{CTV} \cdot s = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 370 \cdot 40 \cdot 1,5 = \underline{21\,312\text{ N}}$
- Střížná síla pro obdélníkový otvor se zaobleným zakončením:
 $F_{s5} = n \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot l_{OBD} \cdot s = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 370 \cdot 36,850 \cdot 1,5 = \underline{19\,633,7\text{ N}}$
- Střížná síla pro $\varnothing$ 8 mm:
 $F_{s6} = n \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot l_8 \cdot s = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 370 \cdot 25,133 \cdot 1,5 = \underline{13\,390,9\text{ N}}$
- Střížná síla pro obdélníkový otvor mezi hranami:
 $F_{s7} = n \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot l_{OBDMH} \cdot s = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 370 \cdot 92 \cdot 1,5 = \underline{49\,017,7\text{ N}}$
- Střížná síla pro obrys součásti:
 $F_{s8} = n \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot l_{SOUČ} \cdot s = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 370 \cdot 770 \cdot 1,5 = \underline{410\,256\text{ N}}$
- Celková střížná síla:
 $F_{SCEL} = F_{s1} + 2 \cdot F_{s2} + 3 \cdot F_{s3} + 4 \cdot F_{s4} + 5 \cdot F_{s5} + 6 \cdot F_{s6} + 5 \cdot F_{s7} + F_{s8}$
 $F_{SCEL} = 26\,781,2 + 2 \cdot 18\,412,5 + 3 \cdot 18\,075,8 + 4 \cdot 21\,312 + 5 \cdot 19\,633,7 +$
 $+ 6 \cdot 13\,390,9 + 5 \cdot 49\,017,7 + 410\,256 = \underline{1\,036\,940\text{ N} = 1\,037\text{ kN}}$
 $\rightarrow$ Celková střížná síla pro reklamní kostku je **1 036 940 N**.

Celková střížná síla pro reklamní hrací kostku je 1 036 940 N, z čehož střížná síla pro průměr 16 mm je 26 781,2 N, střížná síla pro dva průměry 11 mm je 36 825 N, střížná síla pro trojúhelníkové otvory je 54 227,4 N, Střížná síla pro čtvercové otvory je 85 248 N, střížná síla pro obdélníkové otvory se zaobleným zakončením je 98 168,5 N, střížná síla pro průměry 8 mm je 80 345,4 N, střížná síla pro obdélníkové otvory mezi hranami je 245 088,5 N a střížná síla pro obrys součásti je 410 256 N.

➤ Výpočet práce

Střížná práce bude vypočítána podle výpočtů (2.4) a (2.5), kde jako správná střížná práce bude určena ta, která bude mít vyšší hodnotu, protože je vždy lepší počítat s horší variantou. Je za potřebí znát koeficient pro výpočet práce, který se pohybuje v rozmezí od 0,5 do 0,55. Pro výpočet byla zvolena hodnota koeficientu práce 0,5. Dále je za potřebí znát koeficient pro práci, který se určuje podle meze pevnosti a tloušťky stříhaného materiálu z tabulky, která je uvedena v příloze č.2. Pro mez pevnosti 370 MPa a tloušťku stříhaného materiálu 1,5 mm je tento koeficient 0,50 až 0,55 – byla zvolena hodnota 0,52.

- Výpočet střížné práce (1. způsob):
 $A_1 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot x \cdot s \cdot F_{SCEL} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,5 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1\,036\,940 = \underline{610\,808\text{ J}}$
- Výpočet střížné práce (2. způsob):
 $A_2 = k_1 \cdot F_{SCEL} \cdot s = 0,5 \cdot 1\,036\,940 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} = \underline{777,705\text{ J}}$

Střížná práce byla určena práce A_2 , protože má vyšší hodnotu než střížná práce A_1 a mělo by být počítáno s horší variantou. Výsledná střížná práce je 777,705 J.

➤ Výpočet vůle

Pro výpočet střížné mezery a střížné vůle budou využity uvedené vzorce (2.1) a (2.2). Pro výpočet (2.2) můžeme být zvolen koeficient přesnosti od 0,005 do 0,025, kde pro vyráběnou součást byl zvolen koeficient přesnosti 0,01 a střížný odpor pro ocel, který se volí v rozmezí od 320 MPa do 400 MPa, byl zvolen 400 MPa.

- Střížná mezera:

$$m = c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{k_s} = 0,01 \cdot 1,5 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{400} = \underline{0,096 \text{ mm} \approx 0,1 \text{ mm}}$$

- Střížná vůle:

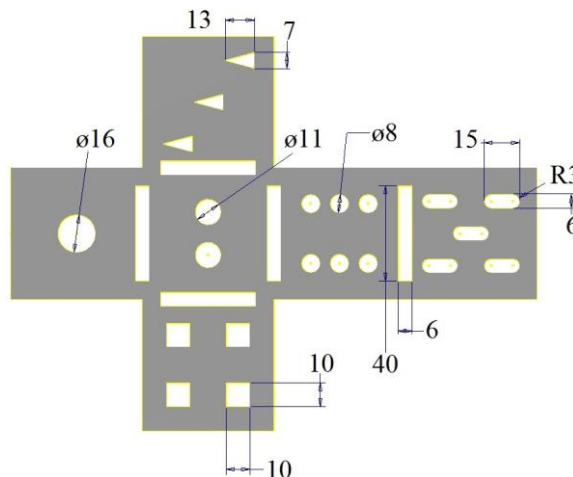
$$v = 2 \cdot m = 2 \cdot 0,1 = \underline{0,2 \text{ mm}}$$

Vypočítaná střížná mezera mezi střížníky a střížnicí byla zaokrouhlena na 0,1 mm a střížná vůle mezi střížníky a střížnicí byla zvolena 0,2 mm.

➤ Výpočet rozměrů střížníků a střížnic

❖ Děrování:

Na obrázku 48 jsou zobrazeny a zakótovány všechny rozměry, které budou děrovány. Tabulka, kde jsou uvedeny tolerance netolerovaných rozměrů podle DIN ISO 27-68 mK, kde bude zjištěn rozměr bez tolerance pro střední toleranční třídu je uvedena v příloze 3. Následně pro toleranci součástky budou zvoleny z norem ČSN 22 6015 z tabulky s názvem tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhadel, která je umístěná v příloze 4 přípustnou míru opotřebení (P), výrobní toleranci střížníku (TA) a výrobní toleranci střížnice (TE). Vzorový výpočet je uveden pro rozměr střížníku a střížnice pro děrování pro průměr 16 mm. Ostatní výpočty rozměrů střížníku a střížnic jsou uvedeny v příloze 9.



Obr. 48 Zobrazení děrovaných rozměrů

- Rozměr střížníku při děrování pro průměr 16 mm:
($\pm 0,2$; $P = 0,310 \text{ mm}$; $TE = 0,120 \text{ mm}$; $TA = 0,074 \text{ mm}$)

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2} \right) - TA = \left(16 + \frac{0,310}{2} \right) - 0,074 = \underline{(16,155)_{-0,074} \text{ mm}}$$

- Rozměr střížnice při děrování pro průměr 16 mm:

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} + v \right) + TE = \left(16 + \frac{0,310}{2} + 0,2 \right) + 0,120 = \underline{(16,355)^{+0,120} \text{ mm}}$$

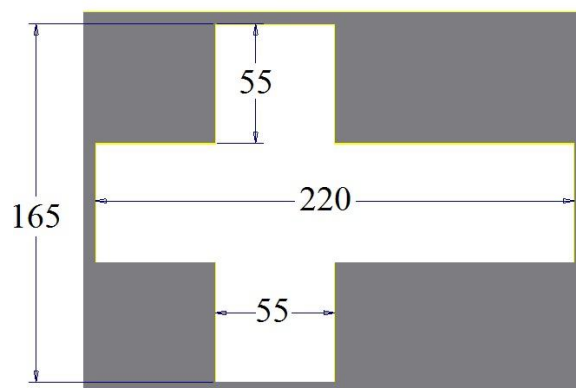
Rozměry střížníků a střížnic pro děrování jsou kompletně vypočítány v příloze 9. Rozměry střížníků a střížnic pro děrování jsou uvedeny v tabulce 7. Rozměry, které budou děrovány a které byly vypočítány jsou pro představivost zobrazeny na obrázku 48.

Tab. 7 Rozměry střížníků a střížnic pro děrování

Děrovaný rozměr	Rozměr střížníku	Rozměr střížnice
Průměr 16 mm	$\varnothing 16^{+0,155}_{+0,081}$	$\varnothing 16^{+0,475}_{+0,355}$
Průměr 11 mm	$\varnothing 11^{+0,155}_{+0,081}$	$\varnothing 11^{+0,475}_{+0,355}$
Průměr 8 mm	$\varnothing 8^{+0,155}_{+0,081}$	$\varnothing 8^{+0,475}_{+0,355}$
Délka 10 mm	$10^{+0,155}_{+0,081}$	$10^{+0,475}_{+0,355}$
Délka 13 mm	$13^{+0,155}_{+0,081}$	$13^{+0,475}_{+0,355}$
Délka 7 mm	$7^{+0,155}_{+0,081}$	$7^{+0,475}_{+0,355}$
Délka 6 mm	$6^{+0,155}_{+0,081}$	$6^{+0,475}_{+0,355}$
Délka 40 mm	$40^{+0,230}_{+0,110}$	$40^{+0,620}_{+0,430}$
Délka 15 mm	$15^{+0,155}_{+0,081}$	$15^{+0,475}_{+0,355}$
Rádus 3 mm	$R3^{+0,080}_{+0,045}$	$R3^{+0,334}_{+0,280}$

❖ Vystřihování:

Dále jsou uvedeny vzorce (2.10) a (2.11) pro způsob vystřihování, kde opotřebený rozměr je zvětšující a tolerance odchylek je $\pm$. Na obrázku 49 jsou zobrazeny a zakótovány rozměry, které budou vystřihovány. Vzorový výpočet vystřihování je uveden pouze pro rozměry střížníku a střížnice pro délku 165 mm. Ostatní výpočty rozměrů střížníku a střížnic jsou uvedeny v příloze 9.



Obr. 49 Zobrazení vystřihovaných rozměrů

- Rozměr střížníku při vystřihování pro délku 165 mm:
($\pm 0,5$; $P = 0,760$ mm; $TE = 0,290$ mm; $TA = 0,185$ mm)

$$RAV = (JR - \frac{P}{2} - v) - TA = (165 - \frac{0,760}{2} - 0,2) - 0,185 = \underline{(164,42)_{-0,185} \text{ mm}}$$

- Rozměr střížnice při vystřihování pro délku 165 mm:

$$REV = (JR - \frac{P}{2}) + TE = (165 - \frac{0,760}{2}) + 0,290 = \underline{(164,62)^{+0,290} \text{ mm}}$$

Rozměry střížníků a střížnic pro vystřihování jsou kompletně vypočítány v příloze 9. Rozměry střížníků a střížnic pro vystřihování jsou uvedeny v tabulce 8. Rozměry, které budou vystřihovány a které byly vypočítány jsou pro představivost zobrazeny na obrázku 49.

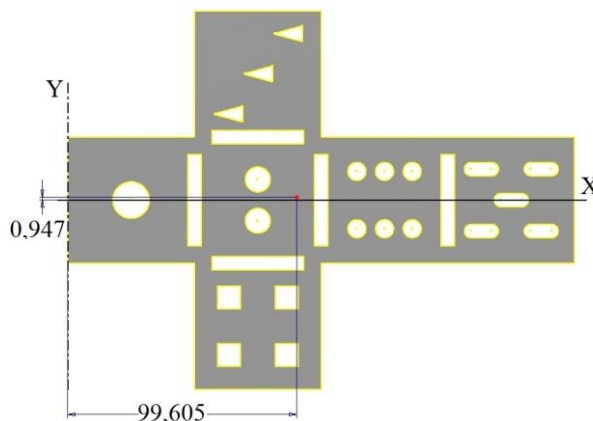
Tab. 8 Rozměry střížníků a střížnic pro vystřihování

Vystřihovaný rozměr	Rozměr střížníku	Rozměr střížnice
Délka 165 mm	$165^{-0,580}_{-0,765}$	$165^{-0,090}_{-0,380}$
Délka 220 mm	$220^{-0,580}_{-0,765}$	$220^{-0,090}_{-0,380}$
Délka 55 mm	$55^{-0,430}_{-0,550}$	$55^{-0,040}_{-0,230}$

➤ Výpočet těžiště [41],[6]

Jestliže je stříh (nebo ohyb) současně prováděno několika střížníky (nebo ohybníky) je nutné provést výpočet těžiště, aby výslednice sil působila v ose beranu lisu. Kdyby výslednice sil nepůsobila v ose, byl by beran lisu zatížen značným klopným momentem, což by mělo za následek zhoršení přesnosti výrobků, snížení životnosti nástrojů a předčasné opotřebení beranu lisu. Výpočet působení výslednice střížných sil, lze zjistit početně, nebo graficky.

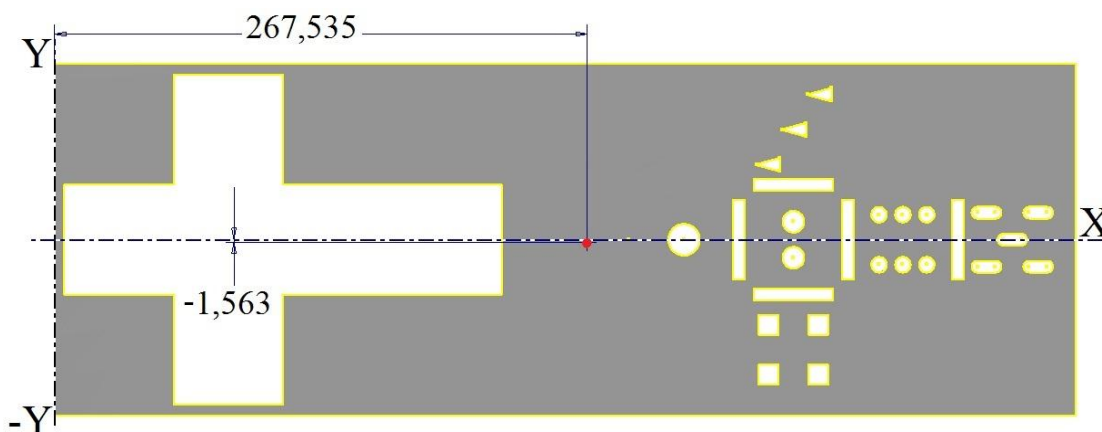
Pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2013 bylo zjištěno těžiště výstřížku. Toto těžiště je zobrazeno na obrázku 50, kde výsledné hodnoty těžiště jsou v X-ové souřadnici 99,605 mm, v Y-ové souřadnici 0,947 mm a v Z-ové souřadnici 0,750 mm (což je v půlce tloušťky materiálu). Díky zjištění celkového těžiště výstřížku je určeno, kde bude působit střížná síla pro obrys součásti (410 256 N) a následně může být vypočítán výpočet těžiště pro výslednici střížných sil.



Obr. 50 Těžiště výstřížku

Při výpočtu těžiště střížných sil byly nejprve zjištěny pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2013 souřadnice pro každou jednotlivou střížnou sílu, jak v X-ové souřadnici, tak v Y-ové souřadnici. Po zjištění těchto souřadnic, byly tyto hodnoty dosazeny do vzorce. Tento výpočet těžiště střížných sil pro X-ovou a Y-ovou souřadnici je umístěn v příloze 10.

Na obrázku 51 je zobrazena výslednice střížných sil. Těžiště výslednice střížných sil má X-ovou souřadnici 267,535 mm a Y-ovou souřadnici -1,563 mm. Tyto souřadnice by měli sloužit jako místo pro určení stopky. Stopka bude umístěna do tohoto těžiště proto, aby výslednice střížných sil působil a v ose beranu. Kdyby tak nebylo učiněno, byl by beran zatížen klopným momentem, čímž by se mohla zhoršit přesnost výrobků, snížila by se životnost nástrojů a došlo by k předčasnému opotřebení lisu.



Obr. 51 Výslednice střížných sil

➤ Výpočet na vzpěr

Pro výpočet střížníku na vzpěr slouží vzorce (2.6) a (2.7). Výpočet na vzpěr se kontroluje pro střížník s nejmenším průřezem. Střížník s nejmenším průřezem byl zvolen střížník o průměru 8 mm. Pro tento střížník je střížná síla 13 390,9 N. Nejdříve podle vzorce (2. 6) bude vypočítána kritická síla a poté podle vzorce (2.7) bude vypočítána kritická délka střížníku, kterou by střížník při konstruování neměl přesáhnout.

- Kritická síla:

$$F_{KR} = \mu_1 \cdot F_{SPS} = 1,5 \cdot 13\,390,9 = \underline{20\,086,35\text{ N}}$$

- Kritická délka střížníku :

$$l_{KR} = \sqrt{\frac{\pi^3 \cdot E \cdot D^4}{1,5 \cdot 32 \cdot F_{KR}}} = \sqrt{\frac{\pi^3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 8^4}{1,5 \cdot 32 \cdot 20\,086,35}} = \underline{166,320\text{ mm}}$$

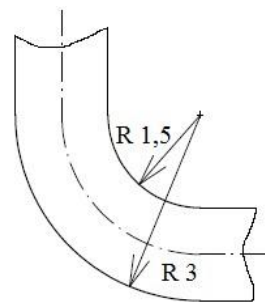
Při návrhu konstrukce střížníku musí být dodrženo pravidlo, že délka střížníku musí být kratší než 166,320 mm.

3.3 Výpočet ohybové části [14]

➤ Minimální a maximální poloměr ohybu

Pro výpočet vzorce minimálního poloměru ohybu (2.16) bude zvolen součinitel pro ocel 0,5. Pro výpočet vzorce maximálního poloměru (2.17) je modul pružnosti v tahu $2,1 \cdot 10^5$ MPa a mez kluzu 250 MPa.

Tyto poloměry nesmí být překročeny, jinak by došlo ke vzniku trhlin a k zvlnění materiálu. Na obrázku 52 je uveden vnější rádius 3 mm a vnitřní rádius 1,5 mm a je nutno poznamenat, že na jakékoliv hraně reklamní hrací kostky je jak vnější tak i vnitřní rádius vždy stejný.



Obr. 52 Zobrazení poloměrů

- Minimální poloměr:

$$R_{\text{MIN}} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{\text{MAX}}} - 1 \right) = c_1 \cdot s = 0,5 \cdot 1,5 = \underline{0,75\text{ mm}}$$

- Maximální poloměr:

$$R_{\text{MAX}} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) = \frac{1,5}{2} \cdot \left(\frac{2,1 \cdot 10^5}{250} - 1 \right) = \underline{629,25\text{ mm}}$$

Minimální a maximální poloměry ohybu nebyly překročeny, tím pádem nedojde ke vzniku trhlin na vnější straně a nedojde k plastickému přetvoření součásti. Protože minimální a maximální poloměry součásti jsou vyhovující, technologičnost vyhovuje.

➤ Poloměr zaoblení ohybníku a ohybnice

Poloměr zaoblení ohybníku je roven vnějšímu poloměru ohýbané součásti a tento poloměr má 3 mm. Pro výpočet zaoblení ohybnice musíme použít vzorec (2.22).

- Poloměr zaoblení ohybnice:

$$r_M = 2 \cdot s = 2 \cdot 1,5 = \underline{3\text{ mm}}$$

→ Poloměr zaoblení ohybnice je 3 mm.

➤ Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí

Pro ohyb do tvaru „V“ by vůle byla rovna tloušťce materiálu, tedy 1,5 mm. Pro ohyb do tvaru „U“ je nutno použít vzorec (2.23).

- Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí pro ohyb „U“:

$$v_O = (1,05 \text{ až } 0,15) \cdot s = 1,08 \cdot s = 1,10 \cdot 1,5 = \underline{1,65 \text{ mm}}$$

Poloměr zaoblení ohybníku je roven poloměru zaoblení ohybnice a tato hodnota je rovna 3 mm. Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí pro ohyb do tvaru „V“ je 1,5 mm a vůle mezi ohybníkem a ohybnicí pro ohyb do tvaru „U“ je 1,65 mm.

➤ Velikost odpružení

Pro vzorec pro odpružení do tvaru „V“ (2.14) a pro odpružení do tvaru „U“ (2.15) je zapotřebí znát délku ramen, kde pro ohyb do U je délka ramene 7,8 mm a pro ohyb do V je délka ohýbaných ramen a tato délka je 55 mm. U výpočtů je využito přílohy 11.

- Odpružení pro první ohnutí (ohyb do tvaru U):

$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{l_U}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,75 \cdot \frac{7,8}{0,555 \cdot 1,5} \cdot \frac{250}{2,1 \cdot 10^5} = 8,3655 \cdot 10^{-3} \rightarrow \underline{\beta = 0^\circ 28' 46''}$$

- Odpružení pro předechnutí (ohyb do tvaru V):

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{l_V}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,375 \cdot \frac{55}{0,555 \cdot 1,5} \cdot \frac{250}{2,1 \cdot 10^5} = 0,02949 \rightarrow \underline{\beta = 1^\circ 41' 22''}$$

Ohýbací nástroj bude při konstrukci upraven, aby nedošlo k odpružení. Nejčastější možnosti úpravy jsou podbroušením ohybníku, zaoblením dolní části ohýbadla a zpevnění materiálu v rozích oblasti ohybu.

➤ Velikost ohýbacích sil

Vzorec pro ohýbací sílu do tvaru „V“ je zobrazen ve vzorci (2.18) a vzorec pro ohýbací práci do tvaru „U“ je zobrazen ve vztahu (2.20).

- Ohýbací síla pro první ohnutí (ohyb do tvaru „U“):

$$F_{OU} = (1 + 7 \cdot \mu) \cdot \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{R + s} = (1 + 7 \cdot 0,1) \cdot \frac{55 \cdot 1,5^2 \cdot 250}{3 + 1,5} = \underline{11\,687,5 \text{ N}}$$

- Ohýbací síla pro předechnutí (ohyb do tvaru „V“):

$$F_{OV} = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{55 \cdot 1,5^2 \cdot 250}{2 \cdot 3} \cdot \operatorname{tg} \frac{30}{2} = \underline{1\,381,7 \text{ N}}$$

- Ohýbací síla pro závěrečné dohnutí:

$$F_{DOH} = 2 \cdot F_{OV} = 2 \cdot 1\,381,7 = \underline{2\,763,4 \text{ N}}$$

- Celková ohýbací síla pro ohnutí kostky:

$$F_{OCEL} = F_{OU} + F_{OV} + F_{DOH} = 11\,687,5 + 1\,381,7 + 2\,763,4 = \underline{15\,832,6 \text{ N}}$$

Celková ohýbací síla pro reklamní kostku je 15 832,6 N. Síla pro první ohnutí činí 11 687,5 N, síla pro předechnutí 1 381,7 N a síla pro závěrečné dohnutí 2 763,4 N.

➤ Velikost ohýbací práce

Vztah pro výpočet ohýbací práce do tvaru „V“ je uveden ve vzorci (2.19) a vztah pro výpočet ohýbací práce do tvaru „U“ je uveden ve vzorci (2.21).

- Ohýbací práce pro první ohnutí (ohybu do tvaru „U“):

$$A_U = F_{OU} \cdot k_U \cdot h = 11\,687,5 \cdot \frac{2}{3} \cdot 65 = \underline{506\,458,4 \text{ J}}$$

- Ohýbací práce pro předehtnutí a závěrečné dohnutí (ohyb do tvaru „V“):

$$A_V = (F_{OV} + F_{DOH}) \cdot k_V \cdot h = (1\,381,7 + 2\,763,4) \cdot \frac{1}{3} \cdot 55 = \underline{75\,993,5\,J}$$

- Celková ohýbací práce pro ohnutí kostky:

$$A_{CEL} = A_U + A_V = 506\,458,4 + 75\,993,5 = \underline{582\,451,9\,J}$$

Celková ohýbací práce pro reklamní kostku je 582 451,9 J. Z toho práce pro první ohnutí činí 506 458,4 J, práce pro předehtnutí a závěrečné dohnutí činí 75 993,5 J.

3.4 Volba stroje [53],[57]

Volba lisu vychází pro stříhání z velikosti střížné síly a střížné práce s určitou bezpečností a pro ohýbání z velikosti ohýbací síly a ohýbací práce. Tuto bezpečnost velikosti střížné síly a velikosti ohýbací síly zajišťuje vzorec:

$$F_{LISU} \geq 1,3 \cdot F_{S(O)CEL}, \quad (3.12)$$

kde: F_{LISU} [N] – síla lisu s ohledem na bezpečnost

F_{SOCEL} [N] – celková střížná (ohýbací) síla

Dále se tvářecí stroj volí podle nejdůležitějších parametrů. Mezi nejdůležitější parametry je zařazen druh prováděné operace, pohon, sevření, zdvih, upínací otvor v beranu, tloušťku stolní deska, velikost otvoru pro spad.

Pro volbu lisu platí, aby jmenovitá tvářecí síla lisu byla větší nebo rovna střížné síle s určitou bezpečností nebo ohýbací síle s určitou bezpečností.

- Střížná síla s bezpečností:

$$F_{LISU} \geq 1,3 \cdot F_{SCEL} = 1,3 \cdot 1\,036\,940 = \underline{1\,348\,022\,N}$$

- Ohýbací síla s bezpečností:

$$F_{LISU} \geq 1,3 \cdot F_{OCEL} = 1,3 \cdot 15\,832,6 = \underline{20\,582,38\,N}$$

Velikost jmenovité tvářecí síly výstředníkového lisu by měla být větší než 1 348 022 N. Pro tuto hodnotu byl nalezen výstředníkový lis S 250, který vyhovuje technickým požadavkům a tento výstředníkový lis byl nalezen ve společnosti Šmeral Brno a.s..

Lis S 250 je jednobodý výstředníkový lis o jmenovité tvářecí síle 2500 kN. Základní součástí lisu je odlévaný stojan, na němž jsou namontovány ostatní montážní uzly.

Nejdůležitější technické parametry tohoto lisu jsou zobrazeny v tabulce 9 a v příloze 6 jsou uvedeny informace o charakteristice

a přednostech lisu, technické parametry a zakótované schéma pro rozměry lisu. Zvolený lis S 250 je zobrazen na obrázku 53.



Obr. 53 Výstředníkový lis S 250 [53]

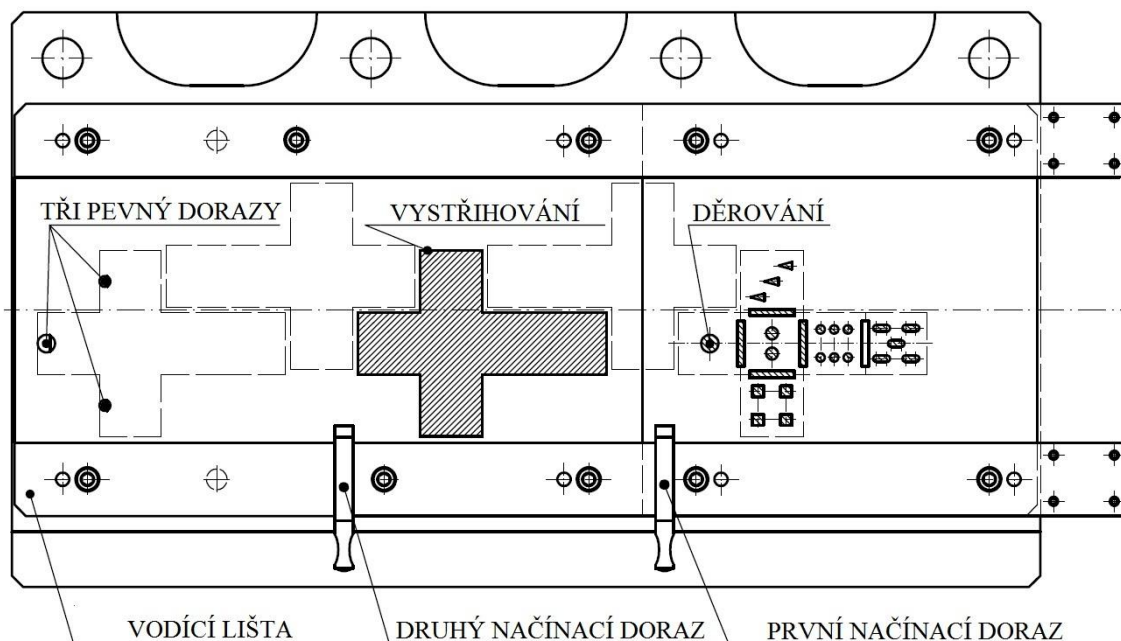
Tab. 9 Technické parametry výstředníkového lisu S 250 [53]

Jmenovitá tvářecí síla	2500 kN
Zdvih	30 až 200 mm
Sevření	600 mm
Přestavění beranu	125 mm
Počet zdvihů	50 $\frac{1}{min}$
Rozměr stolu	1400x1000 mm
Rozměr beranu	1000x650 mm

3.5 Návrh střížného nástroje

Postupové stříhadlo bylo navrženo tak, aby byla vyráběná součást prostřihnuta na dva kroky. Při vložení plechu je poloha materiálu usměrněna pomocí vodících lišt a plech je doražen na první načínací doraz, kde dochází k děrování všech otvorů součásti. Po vyděrování všech otvorů součásti je plech posunut za pomoci vodících lišt (o jeden krok) k druhému načínacímu dorazu, kde dochází k vystřížení obvodu součásti a hotový výstřížek propadne skládanou střížnicí a dolní upínací deskou. Dále je plech znovu posunut o další krok, kde za pomoci tří pevných dorazů je zpětným pohybem doražen a následně stříhán (děrován i vystřihován současně).

Z jednoho pásu plechu se vyrobí 14 kusů, ale jelikož jsou výstřížky umístěny vstříčně, je nutné po vystřihnutí 7 výstřížků pás otočit a znovu zavést a postupovým stříháním vystřihnout znovu 7 výstřížků. Princip posouvání plechu pro postupové stříhadlo je zobrazen na obrázku 54.



Obr. 54 Princip posouvání plechu pro postupové stříhadlo

Vedení nástroje je zajištěno pomocí čtyř vodících sloupků, které jsou zalisovány v dolní upínací desce. Horní upínací deska je vedena pomocí vodících sloupků. Materiál horní a dolní upínací desky byl zvolen 11 500. K horní upínací desce je přimontována opěrná deska a kotevní deska. Tyto desky jsou přimontovány pomocí osmi kolíků (průměr 12 mm a délka 96 mm) a osmi šroubů (průměr 10mm a délka 100 mm).

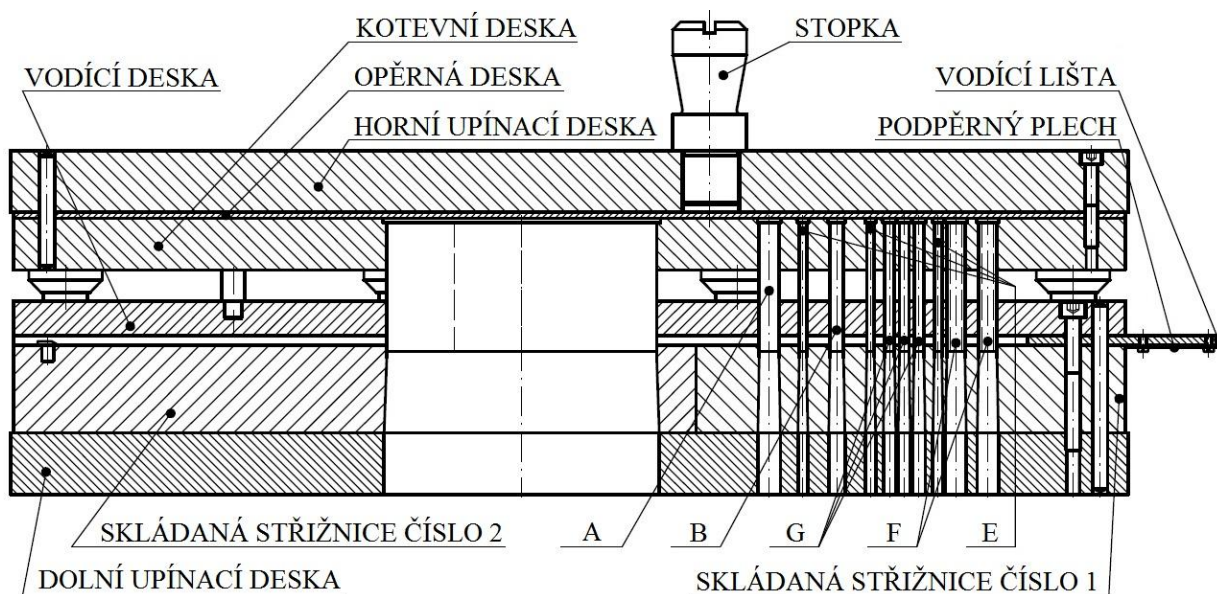
Horní upínací deska je upnuta do výstředníkového lisu pomocí stopky se závitem a zápichem. Tato stopka byla zvolena z norem, přičemž její materiál je kalen a popouštěn na tvrdost HRC = 45 až 50.

Opěrná deska (slouží k zabránění protlačení střížníku do horní upínací desky) je vyrobena z materiálu 12 220 a kotevní deska je vyrobena z materiálu 11 500. V kotevní desce je upnuto celkem 27 střížníků, z nichž je 8 různých druhů.

Střížník A slouží pro děrování průměru 16 mm, střížník B pro děrování průměrů 11mm, střížník C pro děrování trojúhelníků, střížník D pro děrování čtverců, střížník E pro děrování otvorů mezi hranami, střížník F pro děrování otvorů se zaobleným zakončením, střížník G pro děrování otvorů 8 mm a střížník H pro vystřihování obrysu součásti.

K dolní upínací desce je přimontována vodící deska a skládaná střížnice (složená ze dvou dílů - první část střížnice slouží pro děrování a druhá část slouží pro vystřihování). Obě části střížnice jsou vyrobeny z materiálu 19 312. Mezi vodící deskou a střížnicí jsou umístěny vodící lišty, které jsou podpírány pomocí podpěrného plechu. Podpěrný plech a vodící lišty jsou vyrobeny z materiálu 12 220.

První díl skládané střížnice je přimontován pomocí čtyř kolíků (průměr 12 mm a délka 155 mm) a čtyř šroubů (průměr 12 mm a délka 160 mm). Druhý díl střížnice je přimontován pomocí šesti šroubů (průměr 12 mm a délka 160 mm) a 4 kolíků (průměr 12 mm a délka 155 mm) k dolní upínací desce. Tím tedy je vodící deska i s vodícími lištami přimontována k dolní upínací desce osmi kolíky a deseti šrouby. Zobrazení navrženého postupového stříhadla v řezu je zobrazeno na obrázku 55.

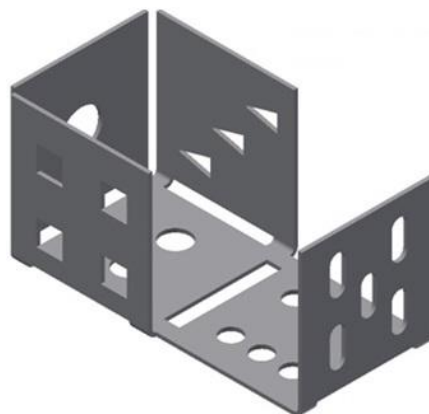


Obr. 55 Zobrazení navrženého postupového stříhadla

3.6 Návrhu ohýbacích nástrojů

Pro ohýbání byla zvolena konstrukce dvou samostatných nástrojů. V prvním ohýbacím nástroji dojde k provedení prvního ohybu a v druhém ohýbacím nástroji dojde k předehtnutí a dohnutí součásti.

První ohýbací nástroj slouží pro první ohyb součásti do tvaru „U“ (obr. 56) a je zobrazen na obrázku 57. Tento nástroj je zkonstruován pro ohýbání pouze jedné součásti, protože požadovaná velikost výrobní série 5000 kusů za rok není dostatečně vysoká. Při vysoké výrobní sérii by mohlo být ohýbadlo navrženo tak, aby bylo možné ohýbat zároveň dvě součásti, čímž by byl ušetřen výrobní čas.



Obr. 56 První ohyb

Vedení nástroje je zajištěno pomocí dvou vodících sloupků, které jsou zalisovány v dolní upínací desce. Vodící pouzdro je zalisováno v horní upínací desce. Materiál dolní a horní upínací desky byl zvolen 11 500. Horní upínací desky je upnuta do výstředníkového lisu pomocí stopky se závitem a zápichem. Stopka byla zvolena stejná

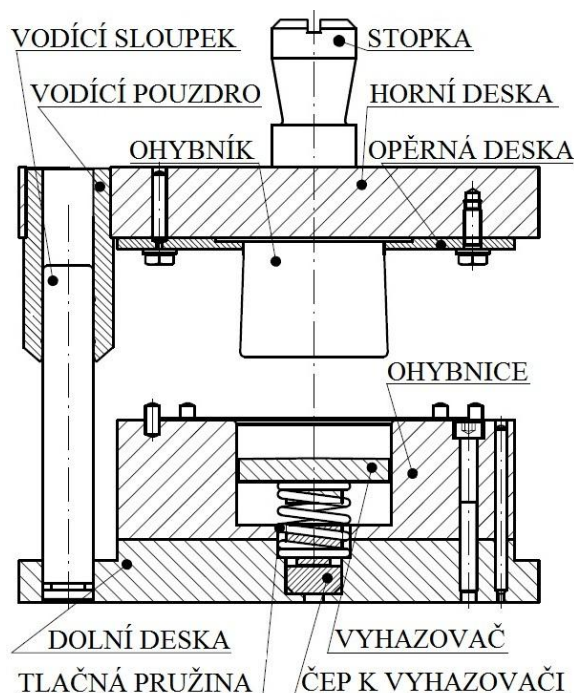
(rozměry, materiál) jako u střížného nástroje. K horní upínací desce je ze spodní strany připevněna opěrná deska pomocí čtyř kolíků (průměr 10 mm délka 54 mm) a čtyř šroubů (průměr 12 mm). Materiál opěrné desky byl vyroben z totožného materiálu jako u postupového stříhadla 12 220.

V opěrné desce je uložen ohybník, který je vyroben z materiálu 19 312. Pro vyrábění vyšší série součástí, by byl ohybník navržen z vložkami, čímž by došlo k ušetření výrobní ceny nástroje a při případné vadě vložky by stačilo vyměnit pouze poškozenou vložku ohybníku. Aby bylo odstraněno odpružení $0^{\circ}28'46''$ je ohybník podbroušený.

Pro lepší vyjmutí materiálu byl v nástroji navržen vyhazovač, který je uložen naproti čepu k vyhazovači (je umístěn v dolní upínací desce), mezi nimiž je omotána tlačná pružina, která zajistí při dosednutí ohybníku na ohýbaný materiál v konečné poloze zpětným pohybem vyhození ohýbaného materiálu z nástroje. Na horní ploše vyhazovače, je podbroušen poloměr, který by měl zajistit správné přitlačení ohýbané součásti na podbroušený ohybník a čímž by mělo být zamezeno odpružení součásti.

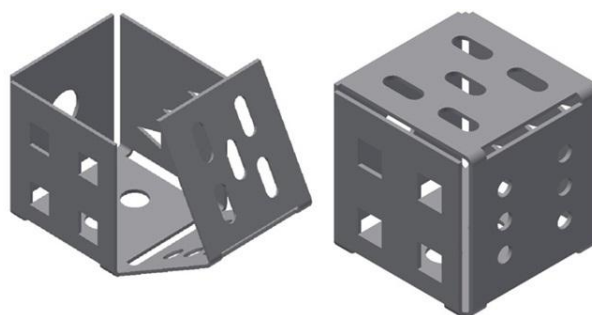
Ohybnice je připevněna pomocí čtyř šroubů (průměr 12 mm, délka 130 mm) a dvou kolíků (průměr 8 mm, délka 120 mm) k dolní upínací desce. Ohybnice je zvolena ze stejného materiálu (19 312) jako ohybník a opět při výrobě vyšší výrobní dávce, by mohla být opatřena vložkami, stejně jako u ohybníku.

Pro vystředění vystřihnutého rozvinutého tvaru reklamní kostky na ohybnici slouží dorazy ve formě kolíků. Těchto kolíků je zvoleno celkově 6 kusů (3 z každé strany), které by měli zajistit posunutí součásti.



Obr. 57 Zobrazení ohýbadla č.1

Druhý ohýbací nástroj slouží pro předehtnutí a dohnutí (obr. 58) součásti a je zobrazen na obrázku 59. Vedení nástroje je opět zajištěno pomocí dvou vodících sloupků, které jsou zalisovány v dolní upínací desce. Vodící pouzdro je zalisováno v horní upínací desce. Materiál dolní a horní upínací desky byl zvolen 11 500.



Obr. 58 Předehtnutí a dohnutí

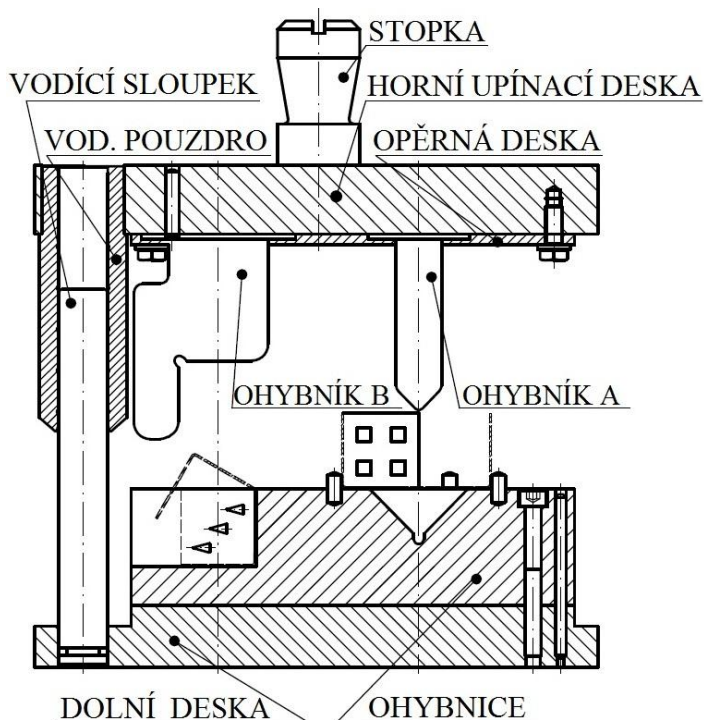
Vodící sloupky a vodící pouzdra jsou zvolena ze stejným průměrem jako u postupového stříhadla a jako u prvního ohýbadla, ale jejich délka je podstatně delší.

Horní upínací deska je upnuta do výstředníkového lisu pomocí stejné stopky jako u postupového stříhadla a ohýbadla číslo 1. K horní upínací desce je ze spod připevněna opěrná deska. Opěrná deska je k horní upínací desce připevněna pomocí čtyř

kolíků (průměr 10 mm, délka 52 mm) a čtyř šroubů (průměr 12 mm). Opěrná deska je vyrobena z materiálu 12 220. V opěrné desce je uložen ohybník pro předehtnutí a ohybník pro závěrečné dohnutí součásti. Oba ohybníky jsou celé kompletně vyrobeny z materiálu 19 312.

K dolní upínací desce je ohybnice připevněna pomocí dvou kolíků (průměr 8 mm, délka 120 mm) a čtyř šroubů (průměr 12mm, délka 132 mm). Ohybnice vyrobena z materiálu 19 312.

Při předehtnutí jsou na ohybnici umístěny pro vystředění kolíky. Těchto kolíků je celkově 6 kusů, kdy tři kolíky z každé strany zajistí ohýbanou kostku před posunutím. Pro vložení předehtného tvaru k závěrečnému dohnutí je jako doraz umístěn okolo třech stran součásti ohybnice, která slouží jako doraz při závěrečném dohnutí.



Obr. 59 Zobrazení ohýbadla č.2

4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Požadovaná výrobní série reklamní kostky je 5 000 kusů za rok. Jako polotovár byl zvolen plech o rozměrech 2000 x 1000 x 1,5 mm. Materiál vyráběné součásti a plechu byl zvolen 11 373 a cena z průzkumu za jeden kilogram tohoto materiálu byla vyhledána 20 Kč. Bylo vypočítáno a vyhodnoceno několik variant nástřihového plánu, ale jako nejvhodnější a neproduktivnější byla vybrána varianta číslo 6. U této varianty bylo zjištěno využití materiálu, které činí 50,82%, kde bychom bylo možné vyrobit 56 kusů z jedné tabule plechu. Technicko-ekonomické zhodnocení bude zaměřeno na náklady na materiál.

- Hmotnost tabule plechu:

$$m_{PL} = S_{TP} \cdot t_P \cdot \rho_{11373} = 2 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 7850 = \underline{23,55 \text{ kg}} \quad (4.1)$$

- Počet tabulí za rok:

$$P_{TZR} = \frac{V_s}{P_{kzt}} = \frac{5000}{56} = \underline{89,29 \text{ ks} \rightarrow 90 \text{ ks}} \quad (4.2)$$

- Cena jedné tabule:

$$c_{1T} = c_{1K} \cdot m_{PL} = 20 \cdot 23,55 = \underline{471 \text{ Kč}} \quad (4.3)$$

- Cena tabulí za rok:

$$c_{TZR} = P_{TZR} \cdot c_{1T} = 90 \cdot 471 = \underline{42\,390 \text{ Kč}} \quad (4.4)$$

- Cena reklamní hrací kostky pouze s náklady na materiál:

$$c_K = \frac{c_{TZR}}{V_s} = \frac{42390}{5000} = \underline{8,50 \text{ Kč}} \quad (4.5)$$

Kostka je vyrobena pro propagaci firmy a tak bude rozdáována zdarma. Pro informaci a pro přehled jsou vypočítány materiálové výrobní náklady. Na výrobu součásti by bylo zapotřebí 90 tabulí plechu o rozměrech 2000 x 1000 x 1,5 mm, kde cena jedné tabule by byla 471 Kč. Pro celkovou velikost požadované série 5 000 kusů za rok by za tabule bylo utraceno 42 390 Kč, což dělá cenu jedné vyrobené součást z hlediska nákladů na materiál na 8,50 Kč.

- Cena reklamní hrací kostky i s energií a se mzdami:

$$C_{RK} = c_K \cdot 1,5 = 8,50 \cdot 1,5 = \underline{12,75 \text{ Kč}} \quad (4.6)$$

Jestliže je známa cena jedné vyrobené součásti z hlediska nákladů na materiál, pro zjištění přibližné ceny kostky s náklady na materiál, se spotřebovanou energií a se mzdami stačí cenu jednoho součásti pouze za materiál vynásobit koeficientem 1,5 a dostane se celková cena součásti, do které jsou zařazeny náklady na materiál, náklady na mzdy a energii. Náklady na stroje, nástroje, odpisy a podobně nebyly uvažovány.

Výsledná cena by z těchto hledisek byla 12,75 Kč, ale tato cena musí být považována pouze za orientační, protože cena za jeden kilogram materiálu 11 373 byla vyhledána a zvolena z průzkumu 20 Kč za kilogram materiálu 11 373.

Jelikož ceny za jeden kilogram materiálu se mohou při koupení velké série tohoto plechu mohou snížit, třeba i o 15%, je zapotřebí brát cenu součásti pouze jako orientační.

5 ZÁVĚRY

Řešená součást se využívá pro hraní her a současně slouží jako propagační nástroj pro zviditelnění firmy při předváděcích akcích před širokou veřejností. Součást je vyrobena pro výrobní sérii 5000 ks/rok z ocelového plechu 11 373, který je alkalicky černěn proti korozi. Vyráběný dílec má v rozvinutém tvaru délku 220 mm, šířku 165 mm a tloušťku 1,5 mm.

Ze všech způsobů možnosti výroby byla jako neoptimálnější varianta výroby zvolena metoda postupového stříhání s následným ohýbáním. Pro vyráběný dílec z technologického hlediska nenastal problém, takže nemusel být dále konstrukčně upravován. Polotovár byl podle rozměrů, tvarů součásti a investičních nákladů zvolen jako tabule plechu o rozměrech 2000 x 1000 x 1,5 mm, pro který byla vybrána varianta nástřihového plánu s největším využitím materiálu.

Z provedených technologických a konstrukčních výpočtů byly navrženy tři samostatné nástroje, pro které byla vytvořena výkresová dokumentace. Prvním nástrojem je postupové stříhadlo, které slouží pro vystřihnutí děr a obvodu součásti, druhý nástroj slouží k prvnímu ohybu z rovinného tvaru a třetí nástroj slouží pro předechnutí a dohnutí součásti do požadovaného tvaru kostky, která má ve výsledném tvaru každou délku hrany 54,169 mm. Z celkových rozměrů nástrojů, tvářecích sil a prací byl pro všechny tři nástroje zvolen výstředníkový lis S 250.

Pomocí technicko ekonomického hlediska byly stanoveny náklady na výrobu jednoho kusu, přičemž výroba jedné reklamní hrací kostky s energií, mzdami a materiálem činí 12,75,- Kč.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Označení	Název	Jednotka
A	Tažnost	[%]
A ₁	Střížná práce - první možnost	[J]
A ₂	Střížná práce - druhá možnost	[J]
A _U	Práce pro ohyb do tvaru „U“	[J]
A _V	Práce pro ohyb do tvaru „V“	[J]
b	Šířka plechu	[mm]
C	Uhlík	[%]
c	Koeficient přesnosti	[-]
c ₁	Součinitel pro ocel	[-]
c _{1K}	Cena za jeden kilogram	[kč]
c _{1T}	Cena jedné tabule	[kč]
c _K	Cena reklamní hrací kostky pouze s náklady na materiál	[kč]
c _{RK}	Cena reklamní hrací kostky i s energií a se mzdami	[kč]
c _{TZR}	Cena tabulí za rok	[kč]
D	Průměr střížníku	[mm]
D _P	Délka pásu	[mm]
D _S	Délka součásti	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
e	Velikost můstku	[mm]
f	Velikost okraje	[mm]
F	Šířka okraje pásu	[mm]
F _C	Celková ohýbací síla	[N]
F _{KR}	Kritická síla	[N]
F _{LISU}	Síla lisu s ohledem na bezpečnost	[N]
F _{OU}	Ohýbací síla do tvaru „U“	[N]
F _{OV}	Ohýbací síla do tvaru „V“	[N]
F _S	Střížná síla	[N]
F _{S(O)CEL}	Celková střížná (ohýbací) síla	[N]
F _{S1}	Střížná síla pro průměr 16 mm	[N]
F _{S2}	Střížná síla pro průměr 11 mm	[N]
F _{S3}	Střížná síla pro trojúhelníkový otvor	[N]
F _{S4}	Střížná síla pro čtvercový otvor	[N]
F _{S5}	Střížná síla pro obdélníkový otvor se zaobleným zakončením	[N]
F _{S6}	Střížná síla pro průměr 8 mm	[N]
F _{S7}	Střížná síla pro obdélníkový otvor mezi hranami	[N]
F _{S8}	Střížná síla pro obrys součást	[N]
F _{SCEL}	Celková střížná síla	[N]
F _{SCEL1}	Celková střížná síla - první možnost	[N]
F _{SCEL2}	Celková střížná síla - druhá možnost	[N]
F _{SI}	Určená střížná síla	[N]
F _{SPS}	Střížná síla počítaného střížníku	[N]
h	Zdvih	[m]

JR	Jmenovitý rozměr součásti	[mm]
k	Součinitel odpružení	[-]
K	Velikost kroku	[mm]
k_1	Koeficient pro práci	[-]
k_S	Střížný odpor	[MPa]
k_U	Koeficient průběhu pro ohyb do tvaru „U“	[-]
k_V	Koeficient průběhu pro ohyb do tvaru „V“	[-]
l	Délka stříhu	[mm]
l_{11}	Délka stříhu pro průměr 11 mm	[mm]
l_{16}	Délka stříhu pro průměr 16 mm	[mm]
l_8	Délka stříhu pro průměr 8 mm	[mm]
$l_{\text{ČTV}}$	Délka stříhu pro čtverce	[mm]
l_{KR}	Kritická délka střížníku	[mm]
l_N	Délka oblouku	[mm]
l_{OBD}	Délka stříhu pro obdélníkové otvory se zaobleným zakončením	[mm]
l_{OBDMH}	Délka stříhu pro obdélníky mezi hranami	[mm]
$l_{\text{SOUČ}}$	Délka stříhu pro obrys součásti	[mm]
l_T	Délka tabule	[dm]
l_{TRO}	Délka stříhu pro trojúhelníky	[mm]
l_U	Délka ramene	[mm]
l_V	Délka ramene	[mm]
m	Střížná mezera	[mm]
m_{CSM}	Celková spotřeba materiálu	[kg]
m_{PL}	Hmotnost tabule plechu	[kg]
m_{TAB}	Hmotnost tabule	[kg]
n	Koeficient otupení nástroje	[-]
P	Přípustná míra opotřebení	[mm]
P_{KJD}	Předpokládaný počet vyrobených součástí	[ks]
P_{KZT}	Počet kusů z tabule	[ks]
P_{PT}	Počet tabulí potřebných na dávku	[ks]
P_{DZT}	Počet pásů z tabule	[ks]
P_{TZR}	Počet tabulí za rok	[ks]
P_V	Procentuální využití tabule	[%]
P_{V1T}	Počet výstřížků z jedné tabule	[ks]
P_{VZT}	Počet výstřížků z pásu	[ks]
R	Poloměr zaoblení	[mm]
R_0	Poloměr ohybu	[mm]
RAD	Rozměr střížníku při děrování	[mm]
RAV	Rozměr střížníku při vystřihování	[mm]
Re	Mez kluzu	[MPa]
RED	Rozměr střížnice při děrování	[mm]
REV	Rozměr střížnice při vystřihování	[mm]
Rm	Mez pevnosti	[MPa]
r_M	Poloměr zaoblení ohybnice	[mm]
R_{MIN}	Minimální poloměr ohybu	[mm]

r_P	Poloměr zaoblení ohybníku	[mm]
S	Síra	[%]
s	Tloušťka stříhaného materiálu	[mm]
S	Plocha stříhu	[mm ²]
s_T	Tloušťka tabule	[dm]
S_{TAB}	Plocha tabule	[mm ²]
S_{TP}	Obsah tabule plechu	[dm ²]
$S_{VÝR}$	Plocha využitá	[mm ²]
$\dot{S}_{JS}$	Šířka jednoho ramena součásti	[mm]
$\dot{S}_{PP}$	Šířka pásu plechu	[mm]
$\dot{S}_S$	Šířka součásti	[mm]
$\dot{S}_T$	Šířka tabule	[dm]
TA	Výrobní tolerance střížníku	[mm]
TE	Výrobní tolerance střížnice	[mm]
t_P	Tloušťka plechu	[dm]
v	Střížná vůle	[mm]
V	Objem tabule	[dm ³]
v_O	Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí	[mm]
V_S	Velikost výrobní série	[ks/rok]
X	Koeficient pro výpočet práce	[-]
X_2	Součinitel polohy	[-]
X_i	X-ová souřadnice k střížné síle	[mm]
X_T	X-ová souřadnice těžiště střížných sil	[mm]
y_i	Y-ová souřadnice k střížné síle	[mm]
y_T	Y-ová souřadnice těžiště střížných sil	[mm]

α	Úhel ohybu	[°]
β	Velikost odpružení	[°]
ϵ_{MAX}	Poměrné prodloužení	[mm]
μ	Součinitel tření	[-]
μ_1	Koeficient bezpečnosti	[-]
π	Ludolfovo číslo	[-]
ρ	Posunutí neutrální osy	[mm]
ρ_{11373}	Hustota pro ocel 11 373	[kg/dm ³]
τ_S	Střížný odpor	[MPa]
φ	Úhel ohybu	[°]

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady součástí vyrobených technologiemi stříháním a ohýbáním	9
Obr. 2 Reklamní hrací kostka zobrazená v prostoru.....	10
Obr. 3 Reklamní hrací kostka zobrazená v rozvinutém tvaru.....	10
Obr. 4 Schéma ohýbání.....	11
Obr. 5 Schéma dělení vodním paprskem	11
Obr. 7 Schéma řezání laserovým paprskem.....	12
Obr. 8 Zobrazení strojního vysekávání	12
Obr. 9 Schéma přesného stříhání s nátlacnou hranou	13
Obr. 10 Schéma postupového stříhadla	13
Obr. 11 Průběh stříhání	14
Obr. 12 Rozdělení střížné plochy	14
Obr. 13 Vliv střížné vůle na tvorbu trhlín.....	15
Obr. 14 Kvalita střížné plochy pro různou velikost střížné mezery	15
Obr. 15 Průběh střížné síly v závislosti na střížném procesu	16
Obr. 16 Schéma jednoduchého a postupového stříhadla	17
Obr. 17 Zobrazení postupového střížného nástroje	17
Obr. 18 Zobrazení dorazů	18
Obr. 19 Částečně vyrobené střížníky	18
Obr. 20 Možné úpravy střížnic pod střížnou plochou	19
Obr. 21 Zobrazení skládaných střížnic	20
Obr. 22 Schéma pro děrování a vystřihování	20
Obr. 23 Schématické znázornění ohybu do tvaru U a do tvaru V	21
Obr. 24 Neutrální osa.....	21
Obr. 25 Úhel ohybu a úhel odpružení.....	22
Obr. 26 Průběh ohýbací síly do tvaru „V”	23
Obr. 27 Průběh ohýbací síly do tvaru „U”	24
Obr. 28 Ohýbací nástroj do tvaru „V”	24
Obr. 29 Podbroušení ohybníku	25
Obr. 30 Zobrazení ohybníku a ohybnice s vložkami	25
Obr. 31 Schéma silového lisu	26
Obr. 32 Schéma zdvihového lisu	26
Obr. 33 Možné způsoby kombinování výstřížku.....	27
Obr. 34 Vzhled střížné plochy	27
Obr. 35 Deformace výstřížků způsobená ohybem.....	28
Obr. 36 Vzdálenost mezi otvory a vzdálenost otvorů od okraje.....	29
Obr. 37 Sražení a zaoblení pro obrys výstřížku.....	29
Obr. 38 Vliv vláken na ohýbání.....	29
Obr. 39 Rozvinutý tvar reklamní hrací kostky	30
Obr. 40 Složený tvar reklamní hrací kostky	30
Obr. 41 Nejmenší velikosti otvorů.....	31
Obr. 42 Nejmenší vzdáleností otvorů od sebe	31
Obr. 43 Trojúhelníkový otvor	31
Obr. 44 Pořadí ohýbání reklamní kostky	32
Obr. 45 Schématické znázornění variant pro plech o rozměrech 2000 x 1000 x 1,5 mm	33
Obr. 46 Nejvýhodnější varianta	33
Obr. 47 Volba nástřihového plánu se zobrazením směru zavádění pásu.....	35
Obr. 48 Zobrazení děrovaných rozměrů	37
Obr. 49 Zobrazení vystřihovaných rozměrů	38

Obr. 50 Těžiště výstřižku.....	39
Obr. 51 Výslednice střížných sil.....	39
Obr. 52 Zobrazení poloměrů.....	40
Obr. 53 Výstředníkový lis S 250	42
Obr. 54 Princip posouvání plechu pro postupové stříhadlo.....	43
Obr. 55 Zobrazení navrženého postupového stříhadla	44
Obr. 56 První ohyb.....	44
Obr. 57 Zobrazení ohýbadla č.1.....	45
Obr. 58 Předechnutí a dohnutí.....	45
Obr. 59 Zobrazení ohýbadla č.2.....	46

SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tab. 1 Mechanické vlastnosti a chemické složení pro ocel 11 373	10
Tab. 2 Parametry pro výpočty (2.8) až (2.11) a obrázek č.22	21
Tab. 3 Hodnoty nejmenší velikosti otvorů pro výrobu stříháním.....	28
Tab. 4 Hodnoty nejmenších dovolených úhlů pro sražení a zaoblení obrysu výstřižku ..	29
Tab. 5 Přehled výsledků pro varianty nástřihového plánu.....	34
Tab. 6 Délka stříhu pro jednotlivé otvory	35
Tab. 7 Rozměry střížníků a střížnic pro děrování.....	38
Tab. 8 Rozměry střížníků a střížnic pro vystřihování.....	38
Tab. 9 Technické parametry výstředníkového lisu S 250.....	42

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY [8]

1. AB KOMPONENTY s.r.o. *Technologie tváření: klasická technika* [online]. 2005 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.abkomponenty.cz/produkty-klasicke-tvareni.html#photogallery>
2. ALDEBARAN BULETTIN: Týdeník věnovaný aktualitám a novinkám z fyziky a astronomie. *Pavel Břichnáč: Plazmové technologie* [online]. 2004 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_20_plt.html
3. AUGSTE, Jakub. *Přesné stříhání součástí* [online]. Brno, 2008. 33 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů [cit. 2013-05-05]. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5306
4. AUGSTE, Jakub. *Výroba části zámku automobilu přesným stříháním* [online]. Brno, 2009. 79 s., CD, 18 příloh. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů [cit. 2013-05-05]. Vedoucí diplomové práce Ing. Eva Šmehlíková, Ph.D. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=15999
5. BAREŠ, Karel. *Lisování*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1971, 542 s.
6. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. 1. vyd. Praha: Redakce báňské a strojírenské literatury, 1983, 213 s.
7. BRDECKOVA, Zuzana. *Výroba těsnící lišty pro provzdušňovací systém* [online]. Brno, 2012. 51 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů [cit. 2013-05-05]. Vedoucí bakalářské práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=53098
8. Citace: citovat je snadné. *Generátor citací* [online]. 2009 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.citace.com/>
9. CZ FERRO - STEEL, spol. s r.o. *ČSN 11373 - Nelegovaná ocel obvyklých jakostí pro konstrukce* [online]. 2011 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/trubky3-11373.pdf>
10. CZ FERRO - STEEL, spol. s r.o. *Náš sortiment: Hlavní sortiment* [online]. 2011 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/cz/nas-sortiment/>
11. ČSN 22 6015. *Stříhadla a střížné vřtle, směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: Vydavatelství úřadu pro normalizaci a měření., 14.11.1975.
12. DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství: pro školu a praxi*. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
13. DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *Technologie tváření: Studijní opory pro kombinované studium I.stupeň, 2 ročník* [online]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství: Ústav strojírenské technologie, Odbor tváření kovů a plastů. Brno, 2006 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/
14. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 3. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
15. DVOŘÁK, Milan. *Technologie*. Brno: CERM, 2001, 238 s. ISBN 80-214-2032-4.

16. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 3. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7
17. DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření: plošné a objemové tvaření*. 2. vyd. Brno: CERM, 2007, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
18. FEROMAT: Hutní a spojovací materiál. *Jakosti ocelí: Nejpoužívanější jakosti ocelí dle ČSN, další značení, popis použití* [online]. 2010 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: http://www.feromat.cz/jakosti_oceli
19. Feron, a.s.: Velkoobchod s hutním materiálem. *Sortimentální katalog: Plech válcovaný za studena k tváření za studena, EN 10131, rozměr 1,5x1000x2000* [online]. 2009 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/detail.php?id=22913>
20. Flow International Corporation. *Technologie vodního paprsku* [online]. 2011 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.flowwaterjet.com/cs-CZ/waterjet-technology.aspx>
21. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
22. FOREJT, Milan. *Teorie tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1991, 187 s. ISBN 80-214-0294-6.
23. FOREJT, Milan. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, Fakulta strojního inženýrství - Ústav strojírenské technologie - Odbor tváření kovů a plastů. *Ročníkový projekt I: SYLABUS pro kombinované studium bakalářského studijního programu STROJÍRENSTVÍ*. Brno, 2002, 75 s.
24. GUMEX, s.r.o. *Řezání vodním paprskem* [online]. 2009 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.gumex.cz/www/sluzby/rezani-vodnim-paprskem>
25. HS - TECH: *Kompletní služby ve zpracování plechu* [online]. 2012 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.hs-tech.cz/vysekovani>
26. In: *Koroze a ochrana materiálu: Učební text určený pro prezenční studium* [online]. [cit. 2013-05-05]. Fakulta výrobních technologií a managementu. Dostupné z: http://www.stefanmichna.com/download/opory/koroze_a_ochrana_materialu.pdf
27. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha: ČVUT Praha, 1993, 349 s. ISBN 80-010-1003-1.
28. KUBÍČEK, Miroslav. *Tváření: Strihání* [online]. Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola technická Brno . 2000 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: http://web.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_20-10.pdf
29. LANGR, Aleš. *Nekonvenční technologie výroby rovinných součástí z plechu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 36 s., 4 přílohy, CD. Vedoucí bakalářské práce Ing. Eva Šmehlíková, Ph.D.
30. LAO: průmyslové systémy, s.r.o. *Seriál na téma lasery: Laserové řezání* [online]. 2013 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129>
31. Laserové a plazmové řezání. In: *Vysoká škola báňská: Technická univerzita Ostrava* [online]. 2012 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/16-17-83-84.pdf>

32. Lasery pro průmyslové technologie: Technologická zařízení. *LaserTherm* [online]. 2013 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: http://www.lasertherm.cz/technologicka-zarizeni/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=LaserTherm
33. LEINVEBER, Jan. *Strojnické tabulky*. 3. přepr.vyd. Praha: Scientia, 1999, 985 s. ISBN 80-718-3164-6.
34. LENDFLED, Petr. *Technologie II: Tváření kovů, zpracování plastů* [online]. Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/uvod.htm
35. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření I*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2008, 105 s., ISBN 978-80-7231-579-6.
36. LINTECH, spol. s r.o. *LINTECH: Laserové řezání* [online]. 2009 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: http://www.lintech.cz/laserove-rezani?utm_source=AdWords&utm_medium=cpc&utm_campaign=Laserove_rezani_a_vrtani&gclid=CIm_yeXSxLUCFREfzQodml8ALA
37. MALEČEK Michal. *Výroba kotevního prvku*. Brno, 2013. 48s, 7 výkresů, 2 přílohy, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
38. MAŇAS, Stanislav. *Výrobní stroje a zařízení: Část: Tvářecí stroje - Poznámky k přednáškám* [online]. Praha, 2006/2007 [cit. 2014-04-09]. Dostupné z: http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12135-VSZ/download/obor_stud/VSZ_-_2351054/VSZ_-_Tvareci_stroje.pdf
39. MĚŘIČKOVÁ, Petra. *Výroba konzoly*. Brno, 2013. 40 s., 4 výkresů, 2 přílohy, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
40. MLÝNEK, Jan. *Projekt automatizované linky na černění kovových součástí* [online]. Brno, 2009. 67 stran. FSI VUT v Brně, [cit. 2013-05-05]. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Bělohoubek, CSc. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/11025/2009_DP_MLYNEK_Jan_85172_Automatizovana_cernici_linka.pdf?sequence=1
41. Novotný, Josef a Zdeněk LANGER. *Střihání a další způsoby dělení kovových materiálů*. 1. vyd. Praha: STNL – Nakladatelství technické literatury, 1980, 216 s.
42. NOVOTNÝ, Karel. *Speciální technologie výroby: Část tváření* [online]. Vysoké učení technické: Fakulta strojního inženýrství - Ústav strojírenské technologie. 2002 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/specialni_tecnologie_vyroby__novotny_piska.pdf
43. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
44. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení - Část tvářecí stroje: Určeno pro KOMBINOVANÉ STUDIUM, III. roč.* Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, odbor tváření, Technická 2, 616 69 BRNO, 2002, 122 s. Dostupné z: <http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobnStrojeAZarizeni.pdf>

45. OBORNÝ, Roman. *Výroba spony bezpečnostního pásu* [online]. Brno, 2008. 74 s., 7 příloh, CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů [cit. 2013-05-05]. Vedoucí diplomové práce Ing. Eva Šmehlíková, Ph.D. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=4750
46. Obrábění laserem: princip a užití u ocele a jiných kovů. *Hospodářské Noviny IHNED: ISSN 1213 - 7693* [online]. 1996 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://technik.ihned.cz/c1-57339360-obrabeni-laserem-princip-a-uziti-u-ocela-a-jinych-kovu>
47. PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava. *ÚVOD DO TVÁŘENÍ I*. Ostrava, 2001. Dostupné z: http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV1.pdf
48. PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. *ÚVOD DO TVÁŘENÍ II*. Ostrava, 2001. Dostupné z: http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV2.pdf
49. PKIT Praha s.r.o.: Prodejna pro tryskáci materiál a tryskáci zařízení. *Řezání vodním paprskem* [online]. 2008 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.pkit.cz/rezani-vodnim-paprskem.php>
50. PLAZMA CZ s.r.o. *Plazma přednosti a nevýhody* [online]. Družstevní 207, 390 02 Tábor, 2010 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.plazmacz.cz/plazma-prednosti-a-nevyhody/>
51. Schinkmann s.r.o: svářecí technika. *Dělení materiálu: Plazmové řezání, řezání plazmou, plazmové zdroje, plasma* [online]. 2011 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.schinkmann.cz/plazma/2/>
52. Schinkmann s.r.o: svářecí technika. *Svářečská škola: Řezání plazmou, plamenem* [online]. 2011 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.schinkmann.cz/plazma/2/>
53. Šmeral Brno a.s.: Výroba tvářecích strojů. *Výstředníkové lisy* [online]. [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/CZTvarVys.html>
54. ŠPAČEK, Jindřich a Ladislav ŽÁK. *Speciální technologie I a II: návody do cvičení - část: plošné tváření*. Vyd. 1. Praha: VUT Brno, 1991, 109 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0259-8.
55. ŠPINLEROVÁ, Marie. *Technologie: Obor: Nástrojař* [online]. Střední škola technická Opava. 2007 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: http://spsprojekt.hostuju.cz/soubory/STT4_2-strihani_SPU.pdf
56. TATÍČEK, František a Roman HALTUF. Stříhání: Akademie tváření. *Kód článku: 100616* [online]. roč. 2010 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
57. Technická univerzita v Košiciach: katedra vyrobnej techniky a robotiky. *LISY: Študijní materiál* [online]. 2005 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: http://www.sjf.tuke.sk/kvtar/1/files/09_Lisy.pdf
58. Technologie: Hydroabrazivní paprsek, Laserový paprsek. *CHPS s.r.o.* [online]. [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.zpracovani-nerezu.cz/o-nas.html>
59. The Hong Kong polytechnic university: Department of industrial and systems engineering. *Netshape Manufacturing Unit: The Fine-blanking technology* [online]. 2012 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.ise.polyu.edu.hk/researches/view/1>

60. TOMAN, Josef. *Povrchové úpravy součástí spalovacích motorů* [online]. Brno, 2012. 49 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav automobilního a dopravního inženýrství [cit. 2013-05-05]. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Maršálek. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/14024/2012_BP_TOMAN_Josef_126428.pdf?sequence=1
61. Tumlikovo: Metal Cutting Technologies. *Technologie: KONSTRUKČNÍ OCELI 11 0XX – 11 80x* [online]. 2010 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/neuslechtile-uhlikovekonstrukcni-oceli-tridy-11-jejich-slozeni-a-tepelne-zpracovani/>
62. VÝBĚR Z ČSN ISO 2768-1. *Všeobecné tolerance: Nepředepsané mezní úchytky délkových rozměrů*. 1992. Dostupné z: <http://www.concad.sk/file/uzitocne-informacie865.pdf>
63. Z-PRECIS, s.r.o.: Quality based on years of experience. *Výrobní program: černění* [online]. 2013 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.zprecis.cz/>

SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

Výkres	Číslo výkresu
➤ Rozvinutý tvar reklamní hrací kostky	BP-11-11
➤ Sestava postupového stříhadla	BP-00-00
➤ Kusovník č.1 k postupovému stříhadlu	BP-K1-00
➤ Kusovník č.2 k postupovému stříhadlu	BP-K2-00
➤ Sestava ohýbacího nástroje číslo 1	BP-22-22
➤ Sestava ohýbacího nástroje číslo 2	BP-33-33
➤ Výkres tvarového střížníku	BP-15-15

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – Náčrt stříhané součásti v rozvinutém tvaru (plně zakótován)

Příloha č.2 – Tabulka pro určení koeficientu pro práci [6]

Příloha č.3 – Tolerance netolerovaných rozměrů [62]

Příloha č.4 – Tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhadel [11]

Příloha č.5 – Výpočet složeného tvaru součásti [14]

Příloha č.6 – Výstředníkový lis S 250 – charakteristika, přednosti, technické parametry, zakótované schéma pro rozměry lisu [53]

Příloha č.7 – Varianty nástřihového plánu pro plech 2000x1000x1,5 mm [19],[54],[21]

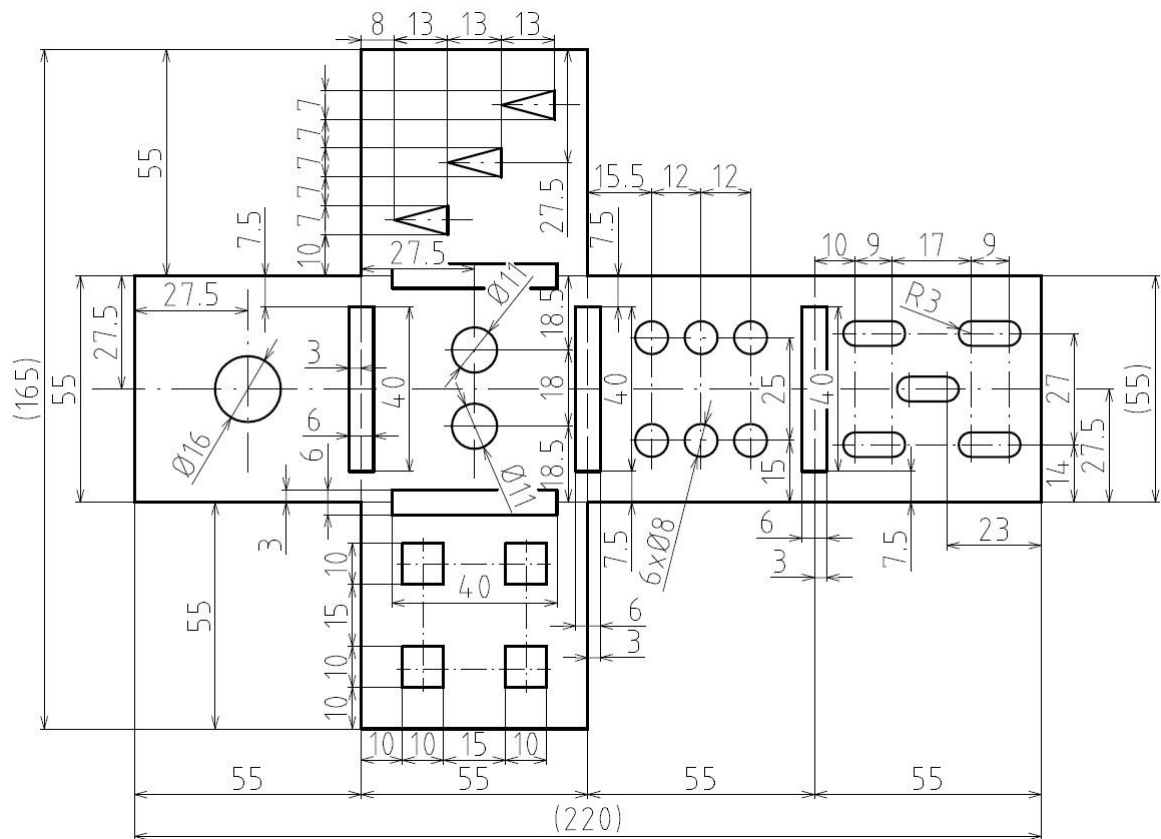
Příloha č.8 – Velikost můstku a velikost okraje [54]

Příloha č.9 – Výpočet pro rozměry střížníků a střížnic [11],[62]

Příloha č.10 – Výpočet těžiště střížných sil pro X-ovou i Y-ovou souřadnici

Příloha č.11 – Hodnoty součinitele x [14]

Příloha č. 1 – Náčrt stříhané součásti v rozvinutém tvaru (plně zakótován)



Příloha č. 2 – Tabulka pro určení koeficientu pro práci [6]

MATERIÁL	Tloušťka materiálu [mm]			
	do 1	1 až 2	2 až 4	nad 4
$\tau_s = 250$ až 350 MPa (Měkká ocel)	0,7 až 0,65	0,65 až 0,6	0,6 až 0,5	0,45 až 0,35
$\tau_s = 350$ až 500 MPa (Středně tvrdá ocel)	0,6 až 0,55	0,55 až 0,50	0,50 až 0,42	0,4
$\tau_s = 500$ až 700 MPa (Tvrdá ocel)	0,45 až 0,42	0,42 až 0,38	0,38 až 0,33	0,3 až 0,20

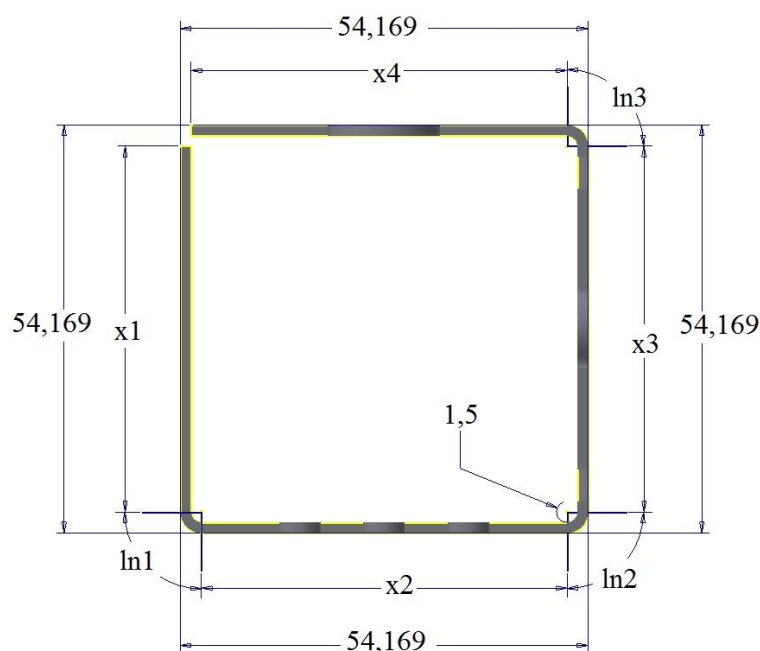
Příloha č. 3 – Tolerance netolerovaných rozměrů [62]

Třída přesnosti		Mezní úchytky pro základní rozsah rozměrů +/- [mm]				
Označení	Název	0,5 až 3	3 až 6	6 až 30	30 až 120	120 až 400
f	jemná	0,05	0,05	0,1	0,15	0,2
m	střední	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5
c	hrubá	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2
v	velmi hrubá	/	0,5	1	1,5	2,5

Příloha č. 4 – Tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhadel [11]

Tolerance součástky (TS)		Přípustná míra opotřebení (P)	Výrobní tolerance	
od	do		Střížnice (TE)	Střížníku (TA)
0,020	0,025	0,020	0,007	0,004
0,025	0,030	0,025	0,008	0,005
0,030	0,035	0,030	0,009	0,008
0,035	0,040	0,035	0,011	0,008
0,040	0,045	0,040	0,013	0,009
0,045	0,050	0,045	0,016	0,011
0,050	0,060	0,050	0,019	0,013
0,060	0,070	0,060	0,022	0,015
0,070	0,080	0,070	0,025	0,018
0,080	0,090	0,080	0,029	0,020
0,090	0,100	0,090	0,032	0,023
0,100	0,120	0,100	0,036	0,025
0,120	0,140	0,110	0,036	0,025
0,140	0,160	0,120	0,040	0,027
0,160	0,180	0,140	0,043	0,030
0,180	0,200	0,160	0,054	0,035
0,200	0,220	0,170	0,063	0,040
0,220	0,240	0,180	0,072	0,046
0,240	0,260	0,200	0,081	0,052
0,260	0,280	0,220	0,089	0,054
0,280	0,300	0,200	0,089	0,056
0,300	0,320	0,250	0,100	0,060
0,320	0,350	0,271	0,100	0,062
0,350	0,370	0,290	0,120	0,074
0,370	0,400	0,310	0,120	0,074
0,400	0,430	0,330	0,140	0,087
0,430	0,460	0,350	0,140	0,087
0,460	0,500	0,380	0,160	0,100
0,500	0,530	0,410	0,160	0,100
0,530	0,560	0,430	0,160	0,100
0,560	0,600	0,460	0,190	0,120
0,600	0,650	0,500	0,190	0,120
0,650	0,700	0,540	0,220	0,140
0,700	0,750	0,580	0,220	0,140
0,750	0,800	0,620	0,250	0,160
0,800	0,900	0,680	0,250	0,160
0,900	1,000	0,760	0,290	0,185
1,000	1,200	0,880	0,320	0,210
1,200	1,400	1,000	0,360	0,230
1,400	více	1,200	0,400	0,250

Příloha č. 5 – Výpočet složeného tvaru součásti [14]



Velikost posunutí neutrální plochy od původní osy průřezu je dána součinitelem x_2 a závisí na poměru R/t .

$$\frac{R_o}{s} = \frac{1,5}{1,5} = 1 \rightarrow \text{Poměr } R_o/s = 1$$

Pro daný poměr R_o/s byl nalezen součinitel $x_2 = 0,410$ (z přílohy číslo 11). Jelikož je poloměr ohybu R_o a úhel ohybu vždy stejný, tloušťka ohýbané součásti je konstantní, může být určeno že l_{N1} , l_{N2} , l_{N3} jsou stejně velké.

$$l_{N1} = l_{N2} = l_{N3} = \frac{\pi \cdot \varphi}{180^\circ} \cdot (R_o + x_2 \cdot s) = \frac{\pi \cdot 90}{180^\circ} \cdot (1,5 + 0,410 \cdot 1,5) = \underline{3,32223 \text{ mm}}$$

Celková délka součásti D_s (220 mm) je známá, tak můžou být určeny rozměry x_1 , x_2 , x_3 a x_4 , které jsou stejně dlouhé.

$$D_s = x_1 + l_{N1} + x_2 + l_{N2} + x_3 + l_{N3} + x_4 \rightarrow x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = x_{\text{cel}}$$

$$4. x_{\text{cel}} = D_s - (l_{N1} + l_{N2} + l_{N3})$$

$$x_{\text{cel}} = \frac{D_s - (l_{N1} + l_{N2} + l_{N3})}{4} = \frac{220 - (3,32223 + 3,32223 + 3,32223)}{4} = \underline{52,5083 \text{ mm}}$$

Nyní může být výpočtem zkontrolována celková délka rozvinuté součásti D_s .

$$D_s = x_1 + l_{N1} + x_2 + l_{N2} + x_3 + l_{N3} + x_4$$

$$D_s = 52,5083 + 3,32223 + 52,5083 + 3,32223 + 52,5083 + 3,32223 + 52,5083$$

$$D_s = \underline{220 \text{ mm}}$$

Těmito výpočty byly zkontrolovány hodnoty, které byly naměřeny pomocí programu Autodesk Inventor 2013. Velikost každé strany kostky má ve složeném tvaru 54,169 mm, délka všech rovných úseků k poloměru ohybu (x_1 , x_2 , x_3 a x_4) měří 52,5083 mm a délka jednotlivých oblouků (l_{N1} , l_{N2} , l_{N3}) měří 3,32223 mm.

Příloha č. 6 – Výstředníkový lis S 250 – charakteristika, přednosti, technické parametry, zakótované schéma pro rozměry lisu [53]

➤ **Charakteristika výrobku:**

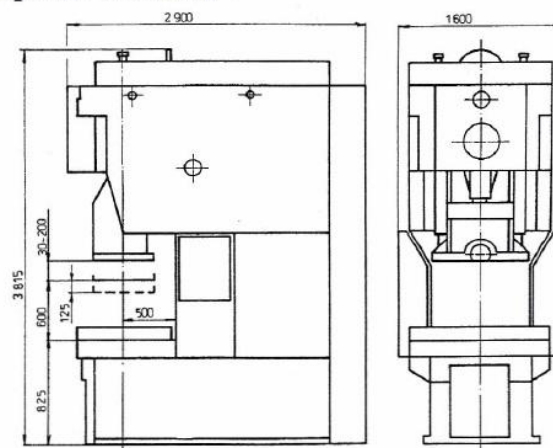
Lis s 250 je jednobodý výstředníkový lis o jmenovité tvářecí síle 2500 kN. Lis je určen pro stříhání, ohýbání a mělké tahy za studena, jakož i pēchování a ostřihování za tepla. Základní součástí lisu je odlévaný stojan, na němž jsou namontovány ostatní montážní uzly. Výstředníková hřídel je uložena zepředu dozadu v horní části stojanu ve třech ložiskách, kroutící moment motoru je přenášen klínovými řemeny na setrvačník, uložený na trubce, přišroubované v zadní části stojanu pod výstředníkovou hřídel. Trubkou setrvačníku prochází předlohovká hřídel, na níž je vzadu za setrvačníkem uložena kombinace hydraulické spojky a brzdy, vpředu pak pastorek ozubeného převodu. Ozubeným převodem se kroutící moment přenáší na výstředníkovou hřídel. Natáčením excentrického pouzdra na výstředníku lze měnit excentricitu a tím také velikost zdvihu. Pohyb se dále přenáší ojnici na tlačný kulový šroub a beran. Natáčením kulového šroubu lze přestavovat beran.

➤ **Přednosti lisu**

Nízké provozní náklady: A) Mnohonásobné zvýšení životnosti nástrojů je docíleno díky vyšší tuhosti stojanu s velmi malou úhlovou úchylkou a minimálním pružením pracovního prostoru. B) Vysoká tuhost stojanu může být navíc zvýšena přidavnými kotvami. C) Dlouhé vedení beranu a nízké pružení pracovního prostoru dovolí nasazení přesných nástrojů, které by jinak musely být nasazeny na dvoustojanových lisech s vyššími investičními náklady. D) K provozu lisu není zapotřebí poměrně drahého tlakového vzduchu, může být tedy provozován v provozech, kde rozvod vzduchu není zaveden. E) Lis je vybaven hydraulicky ovládanou kombinací spojka-brzda, běžící v olejové lázni s malým momentem setrvačnosti, čímž dochází k úsporám energie při rozběhu a brzdění rozbíhaných hmot. F) Motorické přestavování beranu i velikosti zdvihu snižují časy při výměně a seřizování nástrojů a zvyšují výkonnost lisu.

Technické parametry stroje		
Jmenovitá tvářecí síla	2500	kN
Pracovní dráha při max. zdvihu	6,8	mm
Zdvih stavitelný v rozmezí	30–200	mm
Sevření – bez stolní desky	600	mm
Vyložení	500	mm
Přestavení beranu	125	mm
Počet zdvihů při trvalém chodu	50	min ⁻¹
Pracovní plocha beranu	1000 x 650	mm
Pracovní plocha stolu	1400 x 1000	mm
Tloušťka stolní desky	125	mm
Šířka lisu	1600	mm
Hloubka lisu	2900	mm
Výška lisu	3815	mm
Výkon hlavního elektromotoru	18,5	kW
Hmotnost lisu	26 000	kg

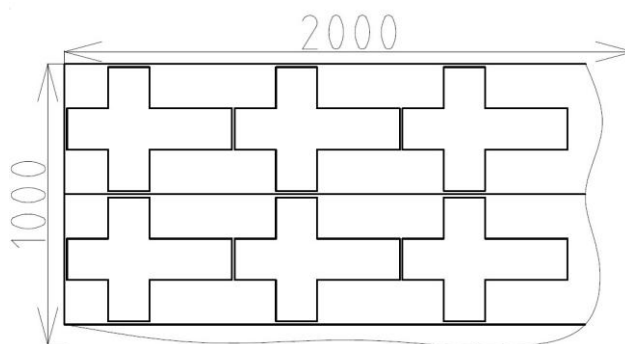
Upínací možnosti



Příloha č. 7 – Varianty nástřihového plánu pro plech 2000 x 1000 x 1,5 mm [19],[54],[21]

➤ **Varianta č.1**

První varianta je zobrazena na obrázku 7.1. Pro variantu 1 vyšla velikost kroku 223,5 mm, šířka jednoho pásu plechu by byla 173,6 mm. Z tabule by bylo vyrobeno 11 pásů, a z jednoho pásu by byly vyrobeny 4 kusy, což vychází, že by bylo možné vyrobit 44 kusů z jedné tabule. Procentuální využití tabule pro variantu č.1 vyšlo 39,93 %.



Obr. 7.1 Varianta nástřihového plánu č.1

✚ **Výpočty pro variantu č.1**

Velikost můstku = $e = 3,5$ mm; Velikost okraje = $f = 4,3$ mm.

(3.1) → $F = 2 \cdot f = 2 \cdot 4,3 = 8,6$ mm → Šířka okraje pásu plechu je 8,6 mm.

(3.2) → $K = D_s + e = 220 + 3,5 = 223,5$ mm → Velikost kroku je 223,5 mm.

(3.3) → $\check{S}_{pp} = \check{S}_s + F = 165 + 8,6 = 173,6$ mm → Šířka pásu plechu je 173,6 mm.

(3.4) → $P_{pzt} = \check{S}_p / \check{S}_{pp} = 2000 / 173,6 = 11,52$ ks → Z tabule bude 11 pásů.

(3.5) → $P_{vzt} = (1000 - e) / K = (1000 - 3,5) / 223,5 = 4,45$ ks → Z jednoho pásu vyrobím 4 ks.

(3.6) → $P_{v1t} = P_{pzt} \cdot P_{vzt} = 11,52 \cdot 4 = 46,08$ ks → Z jedné tabule plechu vyrobím 46,08 ks.

(3.7) → $P_v = (S_{výr} / S_{tab}) \cdot 100 = [(18150,44) / (2000 \cdot 1000)] \cdot 100 = 9,075$ % → Procentuální využití tabule je tedy 9,075 %.

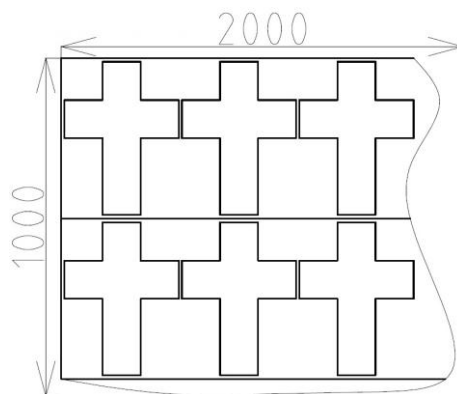
➤ **Varianta č.2**

Druhá varianta je zobrazena na obrázku 7.2. Pro variantu 2 vyšla velikost kroku 169,5 mm, šířka jednoho pásu plechu by byla 230,8 mm. Z tabule by bylo vyrobeno 8 pásů, a z jednoho pásu by bylo vyrobeno 5 kusů, což vychází, že by bylo vyrobeno 40 kusů z jedné tabule. Procentuální využití tabule pro variantu č.2 vyšlo 36,30 %.

✚ **Výpočty pro variantu č.2**

Velikost můstku = $e = 4,5$ mm.

Velikost okraje = $f = 5,4$ mm.



Obr. 7.2 Varianta nástřihového plánu č.2

(3.1) → $F = 2 \cdot f = 2 \cdot 5,4 = 10,8$ mm → Šířka okraje pásu plechu je 10,8 mm.

(3.2) → $K = \check{S}_s + e = 165 + 4,5 = 169,5$ mm → Velikost kroku je 169,5 mm.

(3.3) → $\check{S}_{pp} = D_s + F = 220 + 10,8 = 230,8$ mm → Šířka pásu plechu je 230,8 mm.

(3.4) → $P_{pzt} = \check{S}_p / \check{S}_{pp} = 2000 / 230,8 = 8,66$ ks → Z tabule bude 8 pásů.

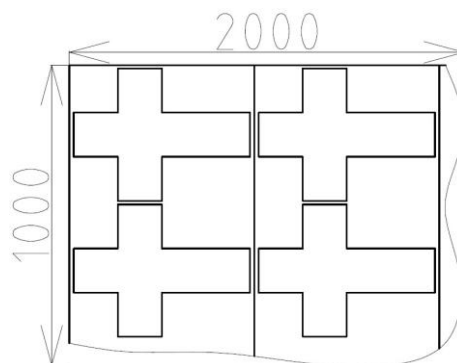
(3.5) → $P_{vzt} = (1000 - e) / K = (1000 - 4,5) / 169,5 = 5,88$ ks → Z jednoho pásu vyrobím 5 ks.

(3.6) → $P_{v1t} = P_{pzt} \cdot P_{vzt} = 8,66 \cdot 5 = 43,3$ ks → Z jedné tabule plechu vyrobím 43,3 ks.

(3.7) → $P_v = (S_{výr} / S_{tab}) \cdot 100 = [(18150,40) / (2000 \cdot 1000)] \cdot 100 = 9,075$ % → Procentuální využití tabule je tedy 9,075 %.

➤ Varianta č.3

Třetí varianta je zobrazena na obrázku 7.3. Pro variantu 3 vyšla velikost kroku 169,5 mm, šířka jednoho pásu plechu by byla 230,8 mm. Z tabule by byly vyrobeny 4 pásy, a z jednoho pásu by bylo vyrobeno 11 kusů, což vychází, že by bylo vyrobeno 44 kusů z jedné tabule. Procentuální využití tabule pro variantu č.3 vyšlo 39,93 %.



Obr. 7.3 Varianta nástřihového plánu č.3

✚ Výpočty pro variantu č.3

Velikost můstku = $e = 4,5$ mm; Velikost okraje = $f = 5,4$ mm.

(3.1) $\rightarrow F = 2 \cdot f = 2 \cdot 5,4 = 10,8$ mm $\rightarrow$ Šířka okraje pásu plechu je 10,8 mm.

(3.2) $\rightarrow K = \check{S}_s + e = 165 + 4,5 = 169,5$ mm $\rightarrow$ Velikost kroku je 169,5 mm.

(3.3) $\rightarrow \check{S}_{pp} = D_s + F = 220 + 10,8 = 230,8$ mm $\rightarrow$ Šířka pásu plechu je 230,8 mm.

(3.4) $\rightarrow P_{pzt} = \check{S}_p / \check{S}_{pp} = 1000 / 230,8 = 4,33$ ks $\rightarrow$ Z tabule bude 4 pásů.

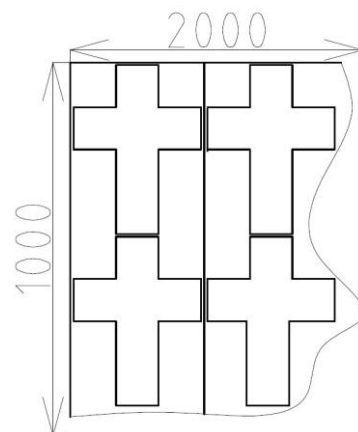
(3.5) $\rightarrow P_{vzt} = (2000 - e) / K = (2000 - 4,5) / 169,5 = 11,77$ ks $\rightarrow$ Z jednoho pásu vyrobím 11 ks.

(3.6) $\rightarrow P_{v1t} = P_{pzt} \cdot P_{vzt} = 4 \cdot 11 = 44$ ks $\rightarrow$ Z jedné tabule plechu vyrobím 44 ks.

(3.7) $\rightarrow P_v = (S_{výr} / S_{tab}) \cdot 100 = [(18150 \cdot 44) / (2000 \cdot 1000)] \cdot 100 = 39,93$ % $\rightarrow$ Procentuální využití tabule je tedy 39,93 %.

➤ Varianta č.4

Čtvrtá varianta je zobrazena na obrázku 7.4. Pro variantu 4 vyšla velikost kroku 223,5 mm, šířka jednoho pásu plechu by byla 173,6 mm. Z tabule by bylo vyrobeno 5 pásů, a z jednoho pásu by bylo vyrobeno 8 kusů, což vychází, že by bylo vyrobeno 40 kusů z jedné tabule. Procentuální využití tabule pro variantu č.4 vyšlo 36,30 %.



Obr. 7.4 Varianta nástřihového plánu č.4

✚ Výpočty pro variantu č.4

Velikost můstku = $e = 3,5$ mm.

Velikost okraje = $f = 4,3$ mm.

(3.1) $\rightarrow F = 2 \cdot f = 2 \cdot 4,3 = 8,6$ mm $\rightarrow$ Šířka okraje pásu plechu je 8,6 mm.

(3.2) $\rightarrow K = D_s + e = 220 + 3,5 = 223,5$ mm $\rightarrow$ Velikost kroku je 223,5 mm.

(3.3) $\rightarrow \check{S}_{pp} = \check{S}_s + F = 165 + 8,6 = 173,6$ mm $\rightarrow$ Šířka pásu plechu je 173,6 mm.

(3.4) $\rightarrow P_{pzt} = \check{S}_p / \check{S}_{pp} = 1000 / 173,6 = 5,76$ ks $\rightarrow$ Z tabule bude 5 pásů.

(3.5) $\rightarrow P_{vzt} = (2000 - e) / K = (2000 - 3,5) / 223,5 = 8,93$ ks $\rightarrow$ Z jednoho pásu vyrobím 8 ks.

(3.6) $\rightarrow P_{v1t} = P_{pzt} \cdot P_{vzt} = 5 \cdot 8 = 40$ ks $\rightarrow$ Z jedné tabule plechu vyrobím 40 ks.

(3.7) $\rightarrow P_v = (S_{výr} / S_{tab}) \cdot 100 = [(18150 \cdot 40) / (2000 \cdot 1000)] \cdot 100 = 36,30$ % $\rightarrow$ Procentuální využití tabule je tedy 36,30 %.

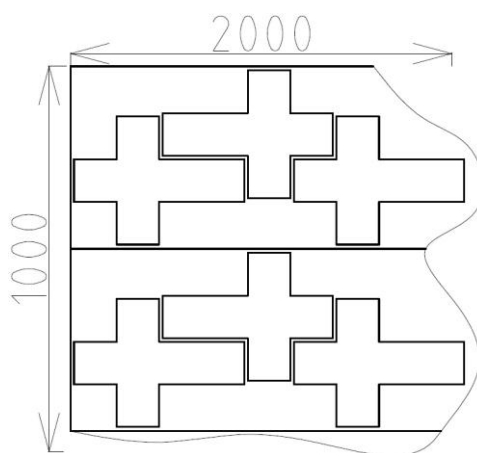
➤ Varianta č.5

Patá varianta je zobrazena na obrázku 7.5. Pro variantu 5 vyšla velikost kroku 284 mm, šířka jednoho pásu plechu by byla 235,3 mm. Z tabule by bylo vyrobeno 8 pásů, a z jednoho pásu by bylo vyrobeno 7 kusů, což vychází, že by bylo vyrobeno 56 kusů z jedné tabule. Procentuální využití tabule pro variantu č.5 vyšlo 50,82 %.

✚ Výpočty pro variantu č.5

Velikost můstku = $e = 4,5$ mm.

Velikost okraje = $f = 5,4$ mm.



Obr. 7.5 Varianta nástřihového plánu č.5

- (3.1) $\rightarrow F = 2 \cdot f = 2 \cdot 5,4 = 10,8$ mm $\rightarrow$ Šířka okraje pásu plechu je 10,8 mm.
 (3.2) $\rightarrow K = D_s + e + \check{S}_{JS} + e = 220 + 4,5 + 55 + 4,5 = 284$ mm $\rightarrow$ Velikost kroku je 284 mm.
 (3.3) $\rightarrow \check{S}_{pp} = \check{S}_s + e + \check{S}_{JS} + F = 165 + 4,5 + 55 + 10,8 = 235,3$ mm $\rightarrow$ Šířka pásu plechu je 235,3 mm.
 (3.4) $\rightarrow P_{pzt} = \check{S}_p / \check{S}_{pp} = 2000 / 235,3 = 8,49$ ks $\rightarrow$ Z tabule bude 8 pásů.
 (3.5) $\rightarrow P_{vzt} = (1000 - e) / K = [(1000 - 4,5) / 284] \cdot 2 = 7,01$ ks $\rightarrow$ Z jednoho pásu vyrobím 7 ks.
 (3.6) $\rightarrow P_{v1t} = P_{pzt} \cdot P_{vzt} = 8 \cdot 7 = 56$ ks $\rightarrow$ Z jedné tabule plechu vyrobím 56 ks.
 (3.7) $\rightarrow P_v = (S_{výr} / S_{tab}) \cdot 100 = [(18150,56) / (2000 \cdot 1000)] \cdot 100 = 50,82$ % $\rightarrow$ Procentuální využití tabule je tedy 50,82 %.

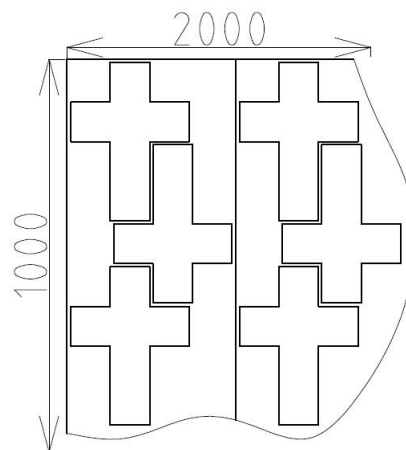
➤ Varianta č.6

Šestá varianta je zobrazena na obrázku 7.6. Pro variantu 6 vyšla velikost kroku 284 mm, šířka jednoho pásu plechu by byla 235,3 mm. Z tabule by byly vyrobeny 4 pásy, a z jednoho pásu by bylo vyrobeno 14 kusů, což vychází, že by bylo vyrobeno 56 kusů z jedné tabule. Procentuální využití tabule pro variantu č.6 vyšlo 50,82 %.

✚ Výpočty pro variantu č.6

Velikost můstku = $e = 4,5$ mm.

Velikost okraje = $f = 5,4$ mm.

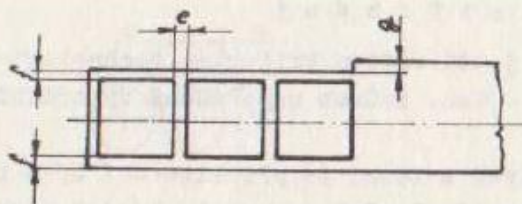


Obr. 7.6 Varianta nástřihového plánu č.6

- (3.1) $\rightarrow F = 2 \cdot f = 2 \cdot 5,4 = 10,8$ mm $\rightarrow$ Šířka okraje pásu plechu je 10,8 mm.
 (3.2) $\rightarrow K = D_s + e + \check{S}_{JS} + e = 220 + 4,5 + 55 + 4,5 = 284$ mm $\rightarrow$ Velikost kroku je 284 mm.
 (3.3) $\rightarrow \check{S}_{pp} = \check{S}_s + e + \check{S}_{JS} + F = 165 + 4,5 + 55 + 10,8 = 235,3$ mm $\rightarrow$ Šířka pásu plechu je 235,3 mm.
 (3.4) $\rightarrow P_{pzt} = D_p / \check{S}_{pp} = 1000 / 235,3 = 4,25$ ks $\rightarrow$ Z tabule bude 4 pásů.
 (3.5) $\rightarrow P_{vzt} = (1000 - e) / K = [(1000 - 4,5) / 284] \cdot 2 = 14,05$ ks $\rightarrow$ Z jednoho pásu vyrobím 14 ks.
 (3.6) $\rightarrow P_{v1t} = P_{pzt} \cdot P_{vzt} = 4 \cdot 14 = 56$ ks $\rightarrow$ Z jedné tabule plechu vyrobím 56 ks.
 (3.7) $\rightarrow P_v = (S_{výr} / S_{tab}) \cdot 100 = [(18150,56) / (2000 \cdot 1000)] \cdot 100 = 50,82$ % $\rightarrow$ Procentuální využití tabule je tedy 50,82 %.

Příloha č. 8 – Velikost můstku a velikost okraje [54]

Tab. 17



Tl. mat.	Sířka pásu											
	do 15		15 - 50		50-100		100 -200		200 -300		300 -400	
	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f
0,1-0,9	1,2	1,5	1,5	1,8	1,8	2,2	2,5	3,1				
1	1,3	1,6	1,6	2	2	2,5	3	3,7	4	4,8	4,8	6
1,3	1,4	1,7	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,3	4,2	5,2	5,3	6,5
1,5	1,5	1,8	2,2	2,7	2,5	3,1	3,5	4,3	4,5	5,4	5,6	6,8
1,8	1,8	2,2	2,2	2,8	2,5	3,1	3,5	4,3	4,7	5,6	5,8	7
2	2	2,5	2,5	3,1	3	3,7	4	5	5	6	6	7
2,2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,2	4	4,2	5,2	5,2	6,2	6,2	7,2
2,5	2,5	3,1	2,8	3,5	3,2	4	4,2	5,2	5,4	6,3	6,3	7,2
2,8	2,8	3,5	3	3,7	3,2	4	4,2	5,2	5,4	6,3	6,5	7,3
3	3	3,7	3,2	4	3,5	4,3	4,5	5,5	5,5	6,5	6,6	7,5
3,5			3,5	4,3	4	5	5	6	6	7	7	8,5
4			3,8	4,5	4,5	5,5	5,5	6,5	6,7	8	8	9,3
4,5			4,0	4,8	4,5	5,7	5,5	6,8	7	8,3	8,3	9,8
5			4,5	5	5	6	6	7	7,3	8,5	8,7	10

Příloha č. 9 – Výpočet pro rozměry střížníků a střížnic [11],[62]

Děrování

Průměr 16 mm ($\pm 0,2$; $P = 0,310$ mm; $TE = 0,120$ mm; $TA = 0,074$ mm)

(3.18) $\rightarrow RAD = (JR + P/2) - TA = (16 + 0,310/2) - 0,074 = \underline{(16,155)}_{-0,074}$ mm

(3.19) $\rightarrow RED = (JR + P/2 + v) + TE = (16 + 0,310/2 + 0,2) + 0,120 = \underline{(16,355)}^{+0,120}$ mm

Průměr 11 mm ($\pm 0,2$; $P = 0,310$ mm; $TE = 0,120$ mm; $TA = 0,074$ mm)

(3.18) $\rightarrow RAD = (JR + P/2) - TA = (11 + 0,310/2) - 0,074 = \underline{(11,155)}_{-0,074}$ mm

(3.19) $\rightarrow RED = (JR + P/2 + v) + TE = (11 + 0,310/2 + 0,2) + 0,120 = \underline{(11,355)}^{+0,120}$ mm

Průměr 8 mm ($\pm 0,2$; $P = 0,310$ mm; $TE = 0,120$ mm; $TA = 0,074$ mm)

(3.18) $\rightarrow RAD = (JR + P/2) - TA = (8 + 0,310/2) - 0,074 = \underline{(8,155)}_{-0,074}$ mm

(3.19) $\rightarrow RED = (JR + P/2 + v) + TE = (8 + 0,310/2 + 0,2) + 0,120 = \underline{(8,355)}^{+0,120}$ mm

Délka 10 mm ($\pm 0,2$; $P = 0,310$ mm; $TE = 0,120$ mm; $TA = 0,074$ mm)

(3.18) $\rightarrow RAD = (JR + P/2) - TA = (10 + 0,310/2) - 0,074 = \underline{(10,155)}_{-0,074}$ mm

(3.19) $\rightarrow RED = (JR + P/2 + v) + TE = (10 + 0,310/2 + 0,2) + 0,120 = \underline{(10,355)}^{+0,120}$ mm

Délka 13 mm ($\pm 0,2$; $P = 0,310$ mm; $TE = 0,120$ mm; $TA = 0,074$ mm)

(3.18) $\rightarrow RAD = (JR + P/2) - TA = (13 + 0,310/2) - 0,074 = \underline{(13,155)}_{-0,074}$ mm

(3.19) $\rightarrow RED = (JR + P/2 + v) + TE = (13 + 0,310/2 + 0,2) + 0,120 = \underline{(13,355)}^{+0,120}$ mm

Délka 7 mm ($\pm 0,2$; $P = 0,310$ mm; $TE = 0,120$ mm; $TA = 0,074$ mm)

(3.18) $\rightarrow RAD = (JR + P/2) - TA = (7 + 0,310/2) - 0,074 = \underline{(7,155)}_{-0,074}$ mm

(3.19) $\rightarrow RED = (JR + P/2 + v) + TE = (7 + 0,310/2 + 0,2) + 0,120 = \underline{(7,355)}^{+0,120}$ mm

Délka 6 mm ($\pm 0,2$; $P = 0,310$ mm; $TE = 0,120$ mm; $TA = 0,074$ mm)

(3.18) $\rightarrow RAD = (JR + P/2) - TA = (6 + 0,310/2) - 0,074 = \underline{(6,155)}_{-0,074}$ mm

(3.19) $\rightarrow RED = (JR + P/2 + v) + TE = (6 + 0,310/2 + 0,2) + 0,120 = \underline{(6,355)}^{+0,120}$ mm

Délka 40 mm ($\pm 0,3$; $P = 0,460$ mm; $TE = 0,190$ mm; $TA = 0,120$ mm)

(3.18) $\rightarrow RAD = (JR + P/2) - TA = (40 + 0,460/2) - 0,120 = \underline{(40,23)}_{-0,120}$ mm

(3.19) $\rightarrow RED = (JR + P/2 + v) + TE = (40 + 0,460/2 + 0,2) + 0,190 = \underline{(40,430)}^{+0,190}$ mm

Délka 15 mm ($\pm 0,2$; $P = 0,310$ mm; $TE = 0,120$ mm; $TA = 0,074$ mm)

(3.18) $\rightarrow RAD = (JR + P/2) - TA = (15 + 0,310/2) - 0,074 = \underline{(15,155)}_{-0,074}$ mm

(3.19) $\rightarrow RED = (JR + P/2 + v) + TE = (15 + 0,310/2 + 0,2) + 0,120 = \underline{(15,355)}^{+0,120}$ mm

Rádus 3 mm ($\pm 0,1$; $P = 0,160$ mm; $TE = 0,054$ mm; $TA = 0,035$ mm)

(3.18) $\rightarrow RAD = (JR + P/2) - TA = (3 + 0,160/2) - 0,035 = \underline{(3,08)}_{-0,035}$ mm

(3.19) $\rightarrow RED = (JR + P/2 + v) + TE = (3 + 0,160/2 + 0,2) + 0,054 = \underline{(3,28)}^{+0,054}$ mm

Vystřihování

Délka 165 mm ($\pm 0,5$; $P = 0,760$ mm; $TE = 0,290$ mm; $TA = 0,185$ mm)

(3.20) $\rightarrow REV = (JR - P/2) + TE = (165 - 0,760/2) + 0,290 = \underline{(164,62)}^{+0,290}$ mm

(3.21) $\rightarrow RAV = (JR - P/2 - v) - TA = (165 - 0,760/2 - 0,2) - 0,185 = \underline{(164,42)}_{-0,185}$ mm

Délka 220 mm ($\pm 0,5$; $P = 0,760$ mm; $TE = 0,290$ mm; $TA = 0,185$ mm)

(3.20) $\rightarrow REV = (JR - P/2) + TE = (220 - 0,760/2) + 0,290 = \underline{(220,62)}^{+0,290}$ mm

(3.21) $\rightarrow RAV = (JR - P/2 - v) - TA = (220 - 0,760/2 - 0,2) - 0,185 = \underline{(220,42)}_{-0,185}$ mm

Délka 55 mm ($\pm 0,3$; $P = 0,460$ mm; $TE = 0,190$ mm; $TA = 0,120$ mm)

(3.20) $\rightarrow REV = (JR - P/2) + TE = (55 - 0,460/2) + 0,190 = \underline{(54,77)}^{+0,190}$ mm

(3.21) $\rightarrow RAV = (JR - P/2 - v) - TA = (55 - 0,460/2 - 0,2) - 0,120 = \underline{(54,57)}_{-0,120}$ mm

Příloha č.10 – Výpočet těžiště střížných sil pro X-ovou i Y-ovou souřadnici

F_{s1} [316; 0], F_{s21} [371; 9], F_{s22} [371; - 9], F_{s31} [360; 41], F_{s32} [373; 55], F_{s33} [358; 69],
 F_{s41} [358,5; - 42,5], F_{s42} [358,5; - 67,5], F_{s43} [383,5; - 42,5], F_{s44} [383,5; - 67,5],
 F_{s51} [468; - 13,5], F_{s52} [468; 13,5], F_{s53} [481; 0], F_{s54} [494; 13,5], F_{s55} [494; - 13,5],
 F_{s61} [414; 12,5], F_{s62} [414; - 12,5], F_{s63} [428; 12,5], F_{s64} [428; - 12,5], F_{s65} [438; 12,5],
 F_{s66} [438; - 12,5], F_{s71} [343,5; 0], F_{s72} [371; 27,5], F_{s73} [371; - 27,5], F_{s74} [398,5; 0],
 F_{s75} [453,5; 0], F_{s8} [99,605; 0,947]

Výpočet pro X-ovou souřadnici výslednice střížných sil

$$x_T = \frac{F_{s1} \cdot x_1 + F_{s21} \cdot x_{21} + F_{s22} \cdot x_{22} + F_{s31} \cdot x_{31} + F_{s32} \cdot x_{32} + F_{s33} \cdot x_{33} + F_{s41} \cdot x_{41} + F_{s42} \cdot x_{42} + F_{s43} \cdot x_{43}}{F_{s1} + F_{s21} + F_{s22} + F_{s31} + F_{s32} + F_{s33} + F_{s41} + F_{s42} + F_{s43}} +$$

$$+ \frac{F_{s44} \cdot x_{44} + F_{s51} \cdot x_{51} + F_{s52} \cdot x_{52} + F_{s53} \cdot x_{53} + F_{s54} \cdot x_{54} + F_{s55} \cdot x_{55} + F_{s61} \cdot x_{61} + F_{s62} \cdot x_{62} + F_{s63} \cdot x_{63}}{F_{s44} + F_{s51} + F_{s52} + F_{s53} + F_{s54} + F_{s55} + F_{s61} + F_{s62} + F_{s63}} +$$

$$+ \frac{F_{s64} \cdot x_{64} + F_{s65} \cdot x_{65} + F_{s66} \cdot x_{66} + F_{s71} \cdot x_{71} + F_{s72} \cdot x_{72} + F_{s73} \cdot x_{73} + F_{s74} \cdot x_{74} + F_{s75} \cdot x_{75} + F_{s8} \cdot x_8}{F_{s64} + F_{s65} + F_{s66} + F_{s71} + F_{s72} + F_{s73} + F_{s74} + F_{s75} + F_{s8}}$$

$$x_T = \frac{26781,2 \cdot 316 + 18412,5 \cdot 371 + 18412,5 \cdot 371 + 18075,8 \cdot 360 + 18075,8 \cdot 373}{26781,2 + 18412,5 + 18412,5 + 18075,8 + 18075,8} +$$

$$+ \frac{18075,8 \cdot 358,5 + 21312 \cdot 358,5 + 21312 \cdot 358,5 + 21312 \cdot 383,5 + 21312 \cdot 383,5 + 19633,7 \cdot 468}{18075,8 + 21312 + 21312 + 21312 + 21312 + 19633,7} +$$

$$+ \frac{19633,7 \cdot 468 + 19633,7 \cdot 481 + 19633,7 \cdot 494 + 19633,7 \cdot 494 + 13390,9 \cdot 468 + 13390,9 \cdot 414}{19633,7 + 19633,7 + 19633,7 + 19633,7 + 13390,9 + 13390,9} +$$

$$+ \frac{13390,9 \cdot 428 + 13390,9 \cdot 428 + 13390,9 \cdot 438 + 13390,9 \cdot 438 + 49017,7 \cdot 414 + 49017,7 \cdot 414}{13390,9 + 13390,9 + 13390,9 + 13390,9 + 49017,7 + 49017,7} +$$

$$+ \frac{49017,7 \cdot 453,5 + 49017,7 \cdot 398,5 + 49017,7 \cdot 453,5 + 410256 \cdot 99,605}{49017,7 + 49017,7 + 49017,7 + 410256} = \underline{\underline{267,535 \text{ mm}}}$$

Výpočet pro Y-ovou souřadnici výslednice střížných sil

$$y_T = \frac{F_{s1} \cdot y_1 + F_{s21} \cdot y_{21} + F_{s22} \cdot y_{22} + F_{s31} \cdot y_{31} + F_{s32} \cdot y_{32} + F_{s33} \cdot y_{33} + F_{s41} \cdot y_{41} + F_{s42} \cdot y_{42} + F_{s43} \cdot y_{43}}{F_{s1} + F_{s21} + F_{s22} + F_{s31} + F_{s32} + F_{s33} + F_{s41} + F_{s42} + F_{s43}} +$$

$$+ \frac{F_{s44} \cdot y_{44} + F_{s51} \cdot y_{51} + F_{s52} \cdot y_{52} + F_{s53} \cdot y_{53} + F_{s54} \cdot y_{54} + F_{s55} \cdot y_{55} + F_{s61} \cdot y_{61} + F_{s62} \cdot y_{62} + F_{s63} \cdot y_{63}}{F_{s44} + F_{s51} + F_{s52} + F_{s53} + F_{s54} + F_{s55} + F_{s61} + F_{s62} + F_{s63}} +$$

$$+ \frac{F_{s64} \cdot y_{64} + F_{s65} \cdot y_{65} + F_{s66} \cdot y_{66} + F_{s71} \cdot y_{71} + F_{s72} \cdot y_{72} + F_{s73} \cdot y_{73} + F_{s74} \cdot y_{74} + F_{s75} \cdot y_{75} + F_{s8} \cdot y_8}{F_{s64} + F_{s65} + F_{s66} + F_{s71} + F_{s72} + F_{s73} + F_{s74} + F_{s75} + F_{s8}}$$

$$y_T = \frac{26781,2 \cdot 0 + 18412,5 \cdot 9 + 18412,5 \cdot (-9) + 18075,8 \cdot 41 + 18075,8 \cdot 55}{18412,5 + 18412,5 + 18075,8 + 18075,8} +$$

$$+ \frac{18075,8 \cdot 69 + 21312 \cdot (-42,5) + 21312 \cdot (-67,5) + 21312 \cdot (-42,5) + 21312 \cdot (-67,5)}{18075,8 + 21312 + 21312 + 21312 + 21312} +$$

$$+ \frac{19633,7 \cdot (-13,5) + 19633,7 \cdot 13,5 + 19633,7 \cdot 0 + 19633,7 \cdot 13,5 + 19633,7 \cdot (-13,5) + 13390,9 \cdot 12,5}{19633,7 + 19633,7 + 19633,7 + 19633,7 + 13390,9} +$$

$$+ \frac{13390,9 \cdot (-12,5) + 13390,9 \cdot 12,5 + 13390,9 \cdot (-12,5) + 13390,9 \cdot 12,5 + 13390,9 \cdot (-12,5)}{13390,9 + 13390,9 + 13390,9 + 13390,9 + 13390,9} +$$

$$+ \frac{49017,7 \cdot 0 + 49017,7 \cdot 27,5 + 49017,7 \cdot (-27,5) + 49017,7 \cdot 0 + 49017,7 \cdot 0 + 410256 \cdot 0,947}{49017,7 + 49017,7 + 49017,7 + 49017,7 + 410256} = \underline{\underline{-1,563 \text{ mm}}}$$

Příloha č. 11 – Hodnoty součinitele α [14]

Ro/s	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2	1,5	2	3	4	nad 5
X2	0,2	0,29	0,32	0,35	0,37	0,38	0,39	0,4	0,41	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,5