

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní zaměření: Strojírenská technologie – technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vliv konstrukčního řešení na funkčnost stříhacích nožů ve firmě Shape corp.

Autor: **Bc. Jan Michal**

Vedoucí práce: **Ing. Aneta Milsimerová, Ph.D.**

Akademický rok 2019/2020

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan MICHAL**
Osobní číslo: **S18N0062P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie – technologie obrábění**
Téma práce: **Vliv konstrukčního řešení na funkčnost stříhacích nožů ve firmě Shape Corp.**
Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

Zásady pro vypracování

1. Úvod
2. Analýza současného stavu řešené problematiky
3. Návrh konstrukčního řešení stříhací hlavy ve variantách včetně praktického ověření
4. Technicko-ekonomické zhodnocení
5. Závěr

Rozsah diplomové práce: **50 – 70 stran**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

- STANĚK, J., NĚMEJC, J. Metodika zpracování a úprava diplomových prací. Plzeň : ZČU,2005, ISBN 80-7043-363-9.
- CHLADIL, J. Přípravky a nástroje : část-obrábění. 3. vyd. Brno : VUT, 1992. ISBN 80-214-0408-6 Interní podklady závodu.
- PÍŠKA, Miroslav a kolektiv, Speciální technologie obrábění, VUT v Brně, 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
- SADÍLEK, Marek. Nekonenční metody obrábění I. Ostrava: VŠB ? TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2009. 152 s. ISBN 978-80-248-2107-8.
- SHAW, Milton Clayton, Metal cutting principles. New York : Oxford University Press, 2005. ISBN 0-19-514206-3.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Aneta Milsimerová, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Konzultant diplomové práce: **Ing. Karel Kepka**
Shape Corp. Czech Republic

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat kolegům z firmy Shape corp., zejména Ing. Karlu Kepkovi za cenné odborné rady. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Anetě Milsimerové, Ph.D za vedení. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině, která mi umožnila studium na vysoké škole a byla mi po celou dobu studia oporou.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Michal	Jméno Jan	
STUDIJNÍ OBOR	Strojírenská technologie – technologie obrábění – 2303T004		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Milsimerová, Ph.D.	Jméno Aneta	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Vliv konstrukčního řešení na funkčnost stříhacích nožů ve firmě Shape corp.		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2020
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	88	TEXTOVÁ ČÁST	81	GRAFICKÁ ČÁST	6
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Diplomová práce je zaměřena na úpravu konstrukce střížného nástroje za účelem zvýšení jeho životnosti a snížení nákladů na jeden stříh. Jedná se o střížný nástroj pro dělení speciálního profilu tvaru monoleg. V práci je nejprve představena teorie stříhu a technologie Shape corp. Dále práce seznamuje s návrhem tvaru nožů, výpočtem střížné síly a polohy výslednice, výpočtem střížné vůle, výpočtem tlaku hydraulického zařízení, určením polohy technologických otvorů, výrobou střížného nože. Další část práce se věnuje testování navržených nožů v sériové výrobě. V poslední fázi práce je provedeno technickoekonomické hodnocení navržených variant nožů. Výsledky práce jsou zveřejněny v textu.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">Střížné nástroje, střížný nůž, střížnice, profilovací válcování, bezpečnostní prvek automobilu</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Michal	Name Jan	
FIELD OF STUDY	Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting - 2303T004		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Milsimerová, Ph.D.	Name Aneta	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design Solution Influence on Functionality of Cutting Blades in Shape Corp.		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting	SUBMITTED IN	2020
----------------	------------------------	-------------------	---	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	90	TEXT PART	84	GRAPHICAL PART	6
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>The diploma thesis is aimed to design modification of cutting tooling in order to increase its longevity and reduce the cost of cutting process. Cutting tool in Shape Corp. describes set of dies and blade in this case designed for specific shape of rollformed profile – the “monoleg” section. The thesis is divided into two main chapters – theoretical part and part dedicated to testing of geometry developed by myself. The thesis deals with design of blades geometry, calculations of shear forces and positions of the resultant, calculations of shear clearances, calculations of hydraulic equipment pressure, determining the position of technological holes, manufacturing of shearing blades. The thesis second part describes tests performed with experimental tools on work centers used for serial production of automotive parts for impact energy management. The thesis result with technical and economical evaluation and its asset for Shape Corp. company.</p>
KEY WORDS	Shearing tools, cutting blade, cutting machine, profiling rolling, car safety element

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Analýza současného stavu řešené problematiky	10
2.1	Teorie stříhání.....	10
2.1.1	Podstata stříhání [1] [2]	10
2.1.2	Střížná vůle [1] [2]	11
2.1.3	Výpočet střížné síly a práce	12
2.1.4	Rozdělení stříhání [1]	15
2.2	Materiály a povlaky střížných nástrojů [4].....	20
2.2.1	Nástrojové oceli [4].....	21
2.2.2	Povlaky [7]	24
2.3	Představení technologie Shape Corp.	25
2.3.1	Profily a materiály nárazníků	25
2.3.2	Rollforming výrobní linka.....	30
2.3.3	Dělení Monoleg profilu	35
3	Návrh konstrukčního řešení stříhací hlavy ve variantách včetně praktického ověření	48
3.1	Popis experimentu	48
3.2	Návrh tvaru nože	49
3.2.1	Nůž A	50
3.2.2	Nůž B.....	52
3.2.3	Nůž C.....	54
3.3	Výpočet střížné síly a poloha výslednice	55
3.3.1	Výpočet střížné síly nůž A	58
3.3.2	Výpočet střížné síly nůž B	60
3.3.3	Výpočet střížné síly nůž C	61
3.3.4	Porovnání střížných sil	63
3.3.5	Ověření tlaku hydraulického zařízení	63
3.4	Výpočet střížné vůle	65
3.5	Poloha technologických otvorů	65
3.6	Výroba střížného nože	67
3.7	Testování nožů.....	67
3.8	Výsledky praktického ověření	69
4	Technicko-ekonomické hodnocení	72

4.1	Náklady na výrobu nože (NVN).....	72
4.2	Náklady na výměnu nože (NZN).....	73
4.3	Náklady na jeden stříh (NNS)	73
4.4	Kalkulace při roční produkci 500 000 kusů.....	74
5	Diskuze výsledků	75
6	Závěr.....	79

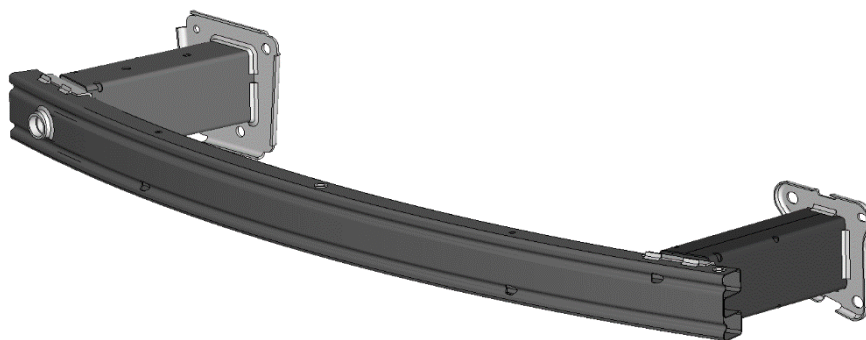
1 Úvod

Pro udržitelný vývoj podniku je důležité prosadit se na trhu a tvořit zisk. V současné době je neustále zvyšován tlak na kvalitu, produktivitu, ekonomičnost, ekologii, bezpečnost a další požadavky, jež musí podniky respektovat, aby dosáhly úspěchu, tvořili zisk a byly konkurenceschopné.

Aby se tyto požadavky mohly neustále naplňovat, je nutné jít s dobou a vylepšovat podnik na všech úrovních. Je vhodné investovat do zlepšení jak lidských zdrojů, tak do systémů řízení podniku, technologií a v neposlední řadě do výrobních prostředků. Práce se bude zabývat právě výrobními prostředky.

Do výrobních prostředků patří např. stroje, nástroje, nářadí, přípravky, ale i celkové vybavení výrobního systému. Výrobní stroje bývají ve většině případů velice nákladné, a proto je při jejich nákupu potřeba pečlivě zvážit, jestli jejich využití bude dostatečné, vhodné pro danou aplikaci, efektivní a jestli bude investice návratná. Snahou bývá vybírat stroj co nejvíce univerzální, aby rozpětí jeho využití bylo co nejširší, např. CNC obráběcí centra, jež zároveň dokáží soustružit, frézovat, vrtat, a to i ve více než pěti osách obrobky téměř neomezených tvarů. Jsou ovšem i takové aplikace, kdy je z hlediska produktivity efektivnější využít stroje jednoúčelové. Jeden takový jednoúčelový stroj bude rozebírat tato diplomová práce.

Tímto konkrétním jednoúčelovým strojem je myšlena výrobní linka na výrobu otevřených i uzavřených válcovaných profilů ve společnosti Shape Corp. Česká republika. Profily se po dalších výrobních operacích používají jako ochranné nárazníky automobilů v automotive průmyslu. Linka je složena z několika hlavních částí. Na začátku procesu je cívkový podavač plechu, následuje klikový lis s raznicí, jež prostřihne otvory. Plech dále postupuje do profilovací válcové linky, kde se kontinuálním válcováním vytvoří finální profil nárazníku. U uzavřených profilů následuje proces kontinuálního svařování, u otevřených profilů je tento proces vynechán. Předposlední operací je ohýbání profilu v ohýbačce na požadovaný rádius. Na závěr je potřeba nekonečný profil dělit na přesnou délku pomocí nože umístěného ve stříhací hlavě. Oddělený profil pokračuje pásovým dopravníkem k operátorovi, který díl zkontroluje a umístí do kontejneru.



Obr. 1 Bezpečnostní výztuha nárazníku

Jak již bylo zmíněno, ve stříhací hlavě je umístěn stříhací nůž, jehož polotovarem je deska z vysokouhlíkové nástrojové oceli ČSN 19830 s TiAlN povlakem.

Cíle práce

Předmětem této práce je upravit tvar dělicího nástroje tak, aby střížené plochy splňovaly kvalitativní podmínky finálního produktu při maximalizaci životnosti dělicího nástroje. Častá výměna nástroje má za následek nežádoucí a nákladné prostoje výrobní linky. Prostoje způsobují nižší produktivitu, vyšší náklady a nižší zisk na výrobu jednoho kusu výrobku. Výrobkem je výztuha profilu monoleg používaná ve vozidlech Nissan Qashqai, Nissan Juke a Nissan Leaf. Roční plánovaná výroba těchto typů výztuh je 500 000 kusů.

Výstupem práce by měl být návrh dvou nových tvarů nožů, výroba těchto nožů, testování s cílem porovnat tyto varianty s původní variantou, a nakonec provedení technickoekonomického hodnocení, kterým bude číselně vyjádřena nejvhodnější varianta nože.

2 Analýza současného stavu řešené problematiky

Aby bylo možné upravit životnost a tvar dělicího nástroje, je potřeba se seznámit se základními poznatky, které se týkají této problematiky. Protože se jedná o dělicí nástroj, je v textu níže nejprve obecně popsána teorie stříhání a dále pak materiály střížných nástrojů. Důležitou částí této kapitoly je představení technologie Shape Corp. z důvodu získání informací nejen o konkrétním stříhacím zařízení, ale i o souvislostech a technologiích, které funkci zařízení ovlivňují. Tyto souvislosti na něj mohou mít přímý nebo nepřímý vliv a jedná se například o princip funkce výrobní linky, materiály nárazníků, druhy dělených profilů aj. Informace z této kapitoly napomáhají k úpravě dělicího nástroje.

2.1 Teorie stříhání

Stříhání je jednou z nejrozšířenějších metod tváření. Může být použito pro přípravu polotovarů (stříhání tabulí, profilů, vývalků, sviteků apod.), dále pro vystříhování součástí z plechu, a to jednak pro konečné použití nebo pro další úpravy (tažení, ohýbání, protlačování, vrtání atd.). Měkčí oceli nebo plechy lze stříhat za studena. [1]

2.1.1 Podstata stříhání [1] [2]

Podstata stříhání je v oddělení materiálu smykovým napětím pomocí dvou protilehlých břitů. Průběh stříhu je rozdělen na tři fáze. V první fázi působí střížník na materiál a vzniká napětí, které je menší než mez pružnosti. V této fázi dochází pouze k pružné deformaci.

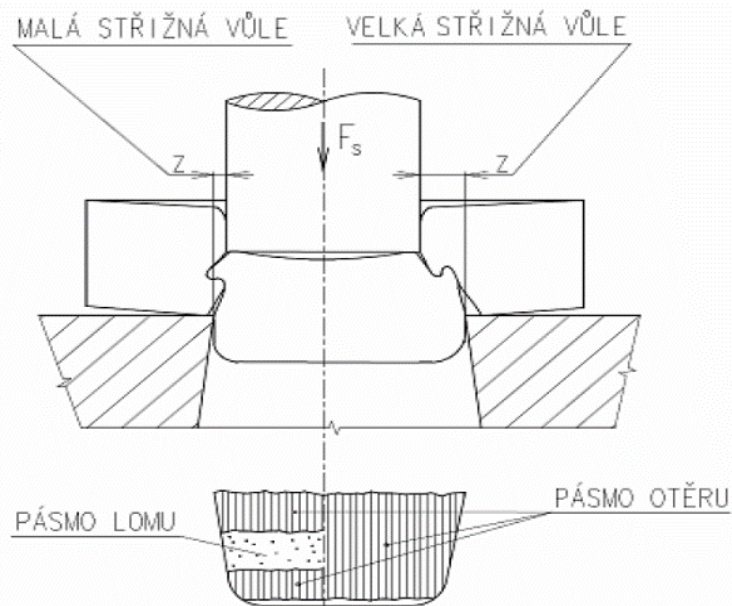
V další fázi stříhu přesáhne napětí mez kluzu stříhaného materiálu, tím dochází k trvalé deformaci a začínají vznikat první trhliny v materiálu. Hloubka vniknutí se liší dle podle mechanických vlastností děleného materiálu, ale bývá okolo 10 až 25 % jeho tloušťky. Na konci druhé fáze stříhu dosahuje napětí meze pevnosti materiálu.

V poslední fázi se napětí pohybuje nad mezí pevnosti děleného materiálu. Vniknutí střížníku bývá od 10 do 60 % tloušťky, na což má také vliv střížná vůle a druh materiálu.

Místo stříhu je vždy nejprve zatíženo elastickou a následně plastickou deformací, při které začínají v materiálu vznikat první trhliny. Nejprve mikroskopické a následně makroskopické trhliny. Trhliny se materiálem postupně šíří, až dojde k úplnému utržení (usmýknutí) materiálu. Měkký a houževnatý materiál se odděluje pomalu, avšak tvrdý a křehký materiál se oddělí téměř okamžitě.

2.1.2 Střížná vůle [1] [2]

Důležitým parametrem při stříhu je střížná vůle, která má velký vliv na kvalitu stříhu. Znamená to, že rozměr střížníku musí mít menší rozměr než odpovídající otvor ve střížnici. Když je střížná vůle ideální, trhlinky v materiálu se při vniku střížného nástroje spojují a oddělená plocha má pak minimální otřep. Při malé nebo velké vůli se trhlinky nesetkají a tím se vytvoří nerovný povrch. Vůle má také vliv na střížnou sílu a práci nutnou k oddělení materiálu. Platí zde jednoduché pravidlo: čím menší vůle, tím vyšší střížná síla a práce. V případě, že je střížná vůle příliš velká, je střížená plocha potřápaná, hrubá a otřepená. Na obrázku (Obr. 2) je v levé



Obr. 2 Střížná vůle [1]

části vyobrazen vliv malé vůle, která má za následek tvorbu přestřížených, ohlazených prstenců. Naopak vlivem velké střížné vůle dochází k ohybu stříhané součásti.

Výpočet je rozdělen pro plech tloušťky nižší než 3 mm a pro plech tloušťky vyšší než 3 mm. V rovnici (2.1) je uveden vzorec pro obecný výpočet střížné vůle a střížné mezery. Střížná mezera má oproti střížné vůli poloviční velikost, což je uvedeno v následující rovnici.

Výpočet střížné mezery (z) pro plech do tloušťky 3[mm]:

$$z = \frac{v}{2} = 0,32 \times c \times t \times \sqrt{k_s} \quad [mm] \quad (2.1)$$

Výpočet střížné mezery (z) pro plech tloušťky nad 3[mm]:

$$z = \frac{v}{2} = 0,32 \times (1,5 \times c \times t - 0,15) \times \sqrt{k_s} \quad [mm] \quad (2.2)$$

kde: v – střížná vůle [mm]
 z – střížná mezera [mm]
 t – tloušťka stříhaného materiálu [mm]
 k_s – střížný odpor [MPa]
 c = (0,005 až 0,025) – součinitel závislý na stupni stříhu

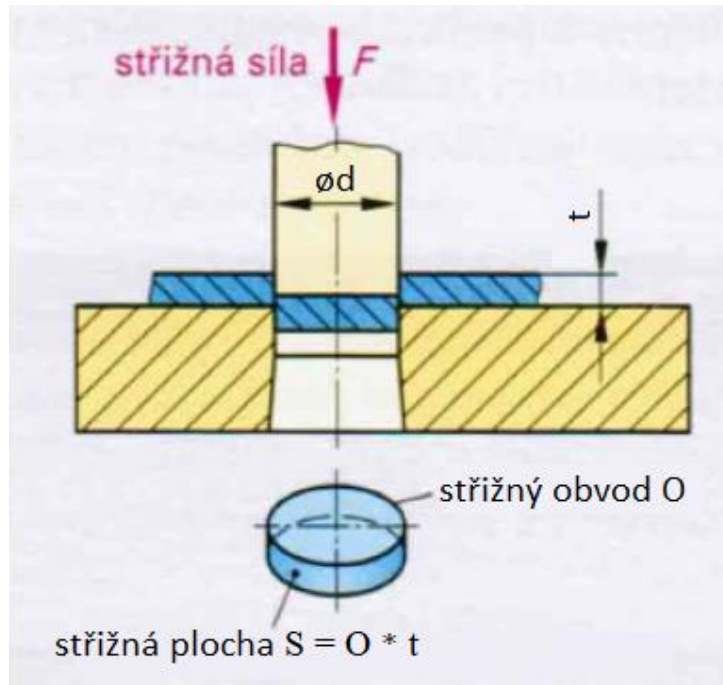
Pro lepší kvalitu stříhu je vhodné volit hodnoty součinitele c nižší. Při požadavku na co nejmenší střížnou sílu je vhodné volit součinitel c vyšší.

2.1.3 Výpočet střížné síly a práce

Aby bylo možné navrhnout parametry stříhacího zařízení, nebo ověřit parametry zařízení, které je již v provozu, je nutné vypočítat střížnou sílu a práci. Když je známa střížná síla, lze podle její velikosti buď přímo určit stroj požadovaných parametrů (např. klikový lis), nebo lze dopočítat potřebný tlak (např. pro hydraulické dělicí zařízení). Výpočet střížné síly se rozděluje pro nože rovnoběžné a šikmé.

2.1.3.1 Výpočet střížné síly rovnoběžných nožů [1]

Střížné síly (F_s) pro rovnoběžné nože lze vypočítat ze vztahu:



Obr. 3 Stříhání rovnoběžnými noži (kruhový střížník) [11]

$$F_s = (1,1 \div 1,3) \times O \times t \times \tau_s [N] \quad (2.3)$$

kde $(1,1 \div 1,3)$ – součinitel otupení břitu [-]

O (l) – střížný obvod, délka stříhu [mm]

t – tloušťka materiálu [mm]

τ_s – napětí ve smyku, stříhová pevnost kde $\tau_s = 0,8 \times R_m$ [MPa]

S – plocha průřezu ve střížné rovině ($S = O \times t$) [mm²]

2.1.3.2 Výpočet střížné síly šikmých nožů [1]

Výpočet střížné síly (F_s) pro šikmé nože se v různých zdrojích liší. Některé zdroje uvádějí více či méně parametrů od nichž se odvíjí celkový výsledek výpočtu. Petr Lenfeld uvádí následující výpočet:

$$\begin{aligned} F_s &= (1,1 \div 1,3) \times t \times b \times \tau_s \\ &= (1,1 \div 1,3) \times \frac{t^2}{\operatorname{tg} \varphi} \times \tau_s \quad [\text{N}] \end{aligned} \quad (2.4)$$

kde $(1,1 \div 1,3)$ – součinitel otupení břitu [-]

t – tloušťka materiálu [mm]

b – délka stříhu ($b = \frac{t}{\operatorname{tg} \varphi}$) [mm]

φ – úhel sklonu nožů

τ_s – napětí ve smyku, stříhová pevnost kde $\tau_s = 0,8 \times R_m$ [MPa]

S – plocha průřezu ve střížné rovině ($S = O \times t$) [mm²]

2.1.3.3 Výpočet střížné práce [2]

Velikost střížné práce (A) si lze představit, jako plochu pod křivkou znázorňující průběh střížné síly v závislosti na dráze nástroje viz obrázek (*Obr. 4*). Velikost práce lze vypočítat pomocí integrace. Matematické vyjádření této křivky bývá v praxi velmi obtížné, proto lze průběh síly zjednodušit proložením odpovídající poloviny elipsy o poloosách $F_s - z$. V levé části obrázku níže (*Obr. 4*) je znázorněn skutečný průběh střížné síly a v jeho pravé části je znázorněno proložení poloviční elipsou. Výpočet střížné práce pro rovnoběžné nože je uveden v následující rovnici (2.5) :

$$A = \frac{S_e}{2} = \frac{\pi}{2} \times F_s \times \frac{h_s}{2} = \frac{\pi}{4} \times F_s \times \kappa \times t \quad [\text{J}] \quad (2.5)$$

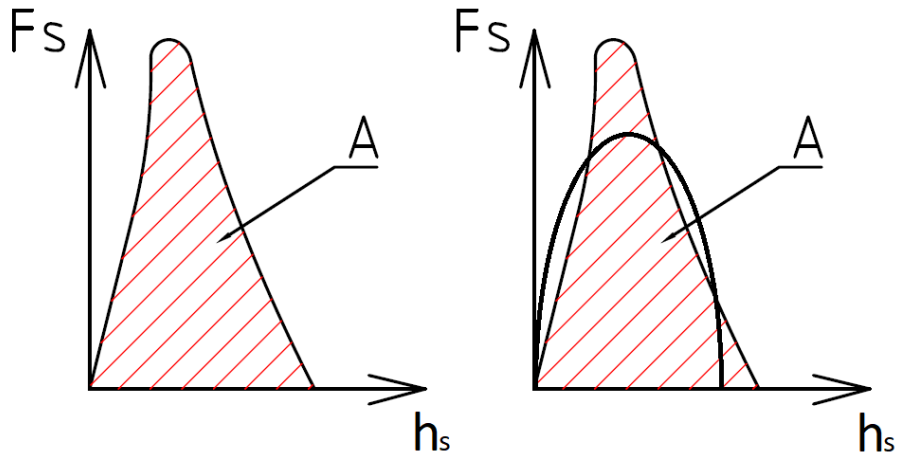
kde F_s – střížná síla [N]

h_s – dráha nástroje (hloubka vniku břitu do materiálu) [mm]

κ – koeficient zahrnující velikost střížné mezery, otupení, tloušťku a jakost povrchu (*Tab. 1*) [-]

t – tloušťka materiálu [mm]

S_e – plocha elipsy [mm²]



Obr. 4 Střížná práce (A) – proložení elipsou

Tab. 1 Hodnoty koeficientu κ v závislosti na materiálu a tloušťce materiálu [3]

Materiál	Tloušťka materiálu			
	do 1	1 až 2	2 až 4	nad 4
Ocel o pevnosti 250 až 350 MPa	0,70 až 0,65	0,65 až 0,60	0,60 až 0,50	0,45 až 0,35
Ocel o pevnosti 350 až 500 MPa	0,60 až 0,55	0,55 až 0,50	0,50 až 0,42	0,40 až 0,30
Ocel o pevnosti 500 až 700 MPa	0,45 až 0,40	0,40 až 0,35	0,35 až 0,30	0,30 až 0,1
Ocel o pevnosti 1500 až 1700	0,1 až 0,08	0,08 až 0,06	0,06 až 0,03	0,03 až 0,01
Al, Cu v žíhaném stavu	0,75 až 0,70	0,70 až 0,65	0,65 až 0,55	0,50 až 0,40

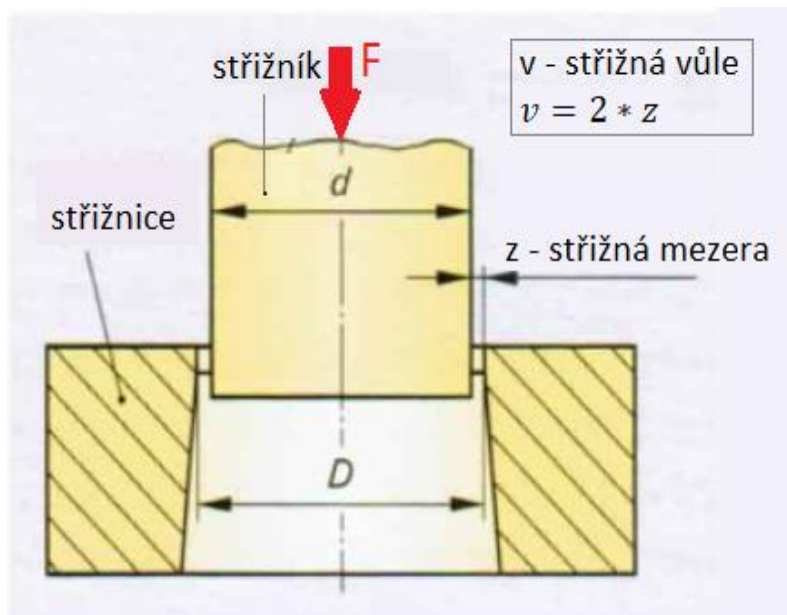
2.1.4 Rozdělení stříhání [1]

Stříhání se liší podle konstrukce nožů a lze rozdělit následovně:

- Stříhání rovnoběžnými noži,
- skloněnými noži,
- noži na profily a tyče,
- kotoučovými noži.

2.1.4.1 Stříhání rovnoběžnými noži [1]

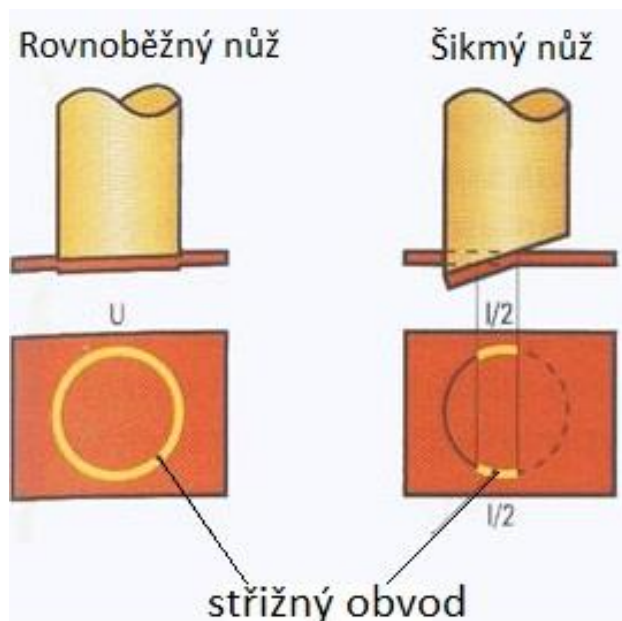
Při stříhání rovnoběžnými noži se používá střížný nástroj, který je složen ze střížníku a střížnice. Materiál střížníku by měl být vždy o řád vyšší kvality než materiál střížnice. Mezi střížnicí a střížníkem musí být střížná mezera ($1/2$ střížné vůle). Dobré kvality stříhu lze docílit pouze vhodně zvolenou střížnou vůlí. Dle P. Lenfelda [1] bývá jednostranná vůle od tří do deseti procent tloušťky plechu (t). Na velikosti vůle má také vliv pevnost materiálu (čím vyšší pevnost materiálu, tím větší vůle). Pro tento typ stříhání je potřeba vyvinout velkou stříhací sílu, protože střížník stříhá najednou celou svou střížnou plochou, což je velká nevýhoda. Na obrázku (Obr. 5) je vyobrazeno stříhání rovnoběžnými noži.



Obr. 5 Stříhání rovnoběžnými noži [4]

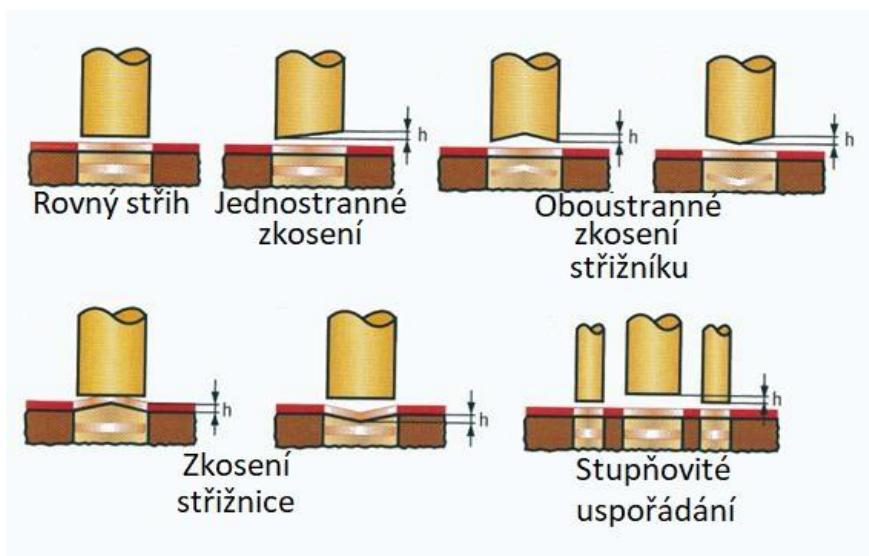
2.1.4.2 Stříhání skloněnými noži

Nevýhoda velké stříhací síly u stříhání rovnoběžnými noži je řešena použitím šikmých nožů. Materiál se vlivem šikmé nože dělí postupně, a proto je celková potřebná střížná síla nižší. Na obrázku (Obr. 6) je znázorněn rozdíl velikostí střížných obvodů. Na levé straně je vyobrazeno stříhání rovnoběžnými noži, kde je patrný stříh celým obvodem nože. Šikmé nože stříhají po obvodě postupně, což je znázorněno vpravo.



Obr. 6 Rozdíl střížných obvodů [4]

Střih skloněnými noži se volí v případě, kdy síla stříhacího zařízení (např. lis, hydraulické stříhací zařízení) není dostatečná, a tudíž je nutné ji snížit. Šikmé střížníky mohou být dvojího typu. První typ je s jednostranným zešikmením, druhý je s oboustranným zešikmením. Jednostranné zešikmení nože se používá zejména při nastříhování plechu. U prostříhování plechu se používá oboustranné symetrické zešikmení, aby nedocházelo k vychylování střížníku z osy (síly na střížníku jsou vyrovnané). Snížení stříhací síly je možné provést i dalšími způsoby.



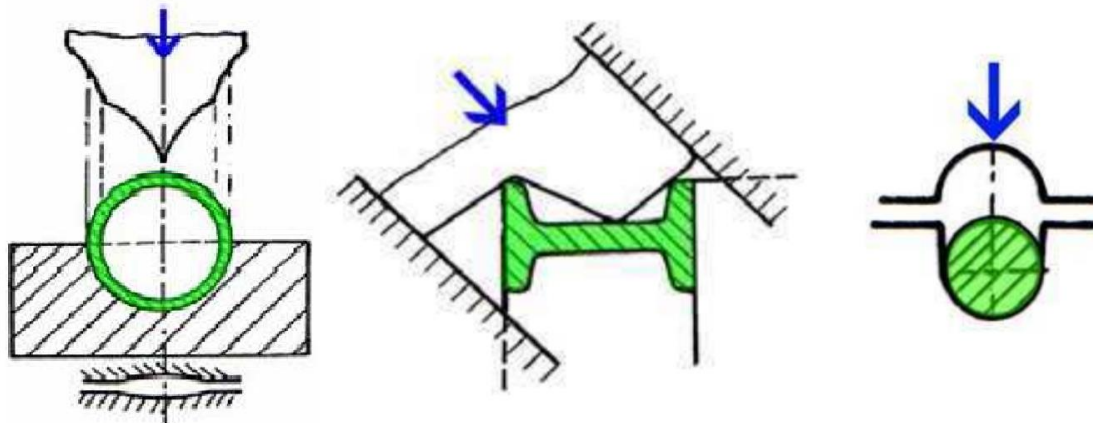
Obr. 7 Úpravy střížníků a střížnic [1]

V případě děrovacích forem osazených větším počtem střížníků, lze stříhací sílu snížit buď odstupňováním délky jednotlivých střížníků, nebo odstupňováním jejich průměrů. Úpravy střížníků jsou znázorněny na obrázku (Obr. 7). U složitých tvarů otvorů není doporučeno používat šikmé ostří.

2.1.4.3 Stříhání noži na profily a tyče

Profily, tyče a profilované materiály, tj. kruhové, čtvercové, obdélníkové tyče, profily U, I, L, duté čtvercové a obdélníkové, speciální profilované tvary apod. je nutné dělit pomocí speciálních tvarových nožů na profily a tyče. Uvádí se zásada, že by v každém okamžiku měla být oddělována téměř totožná tloušťka materiálu. Vnější tvar pohyblivého nože se přizpůsobuje dle zmíněné zásady. [1]

Nicméně to je vidět i na obrázku (Obr. 8), kde je vlevo znázorněno stříhání kruhové trubky. Kdy nejprve vnikne špičatá část nože do kruhové trubky, dále pronikají boky nože tak, aby oddělovaly stále stejnou tloušťku materiálu, čemuž je uzpůsoben jeho tvar.



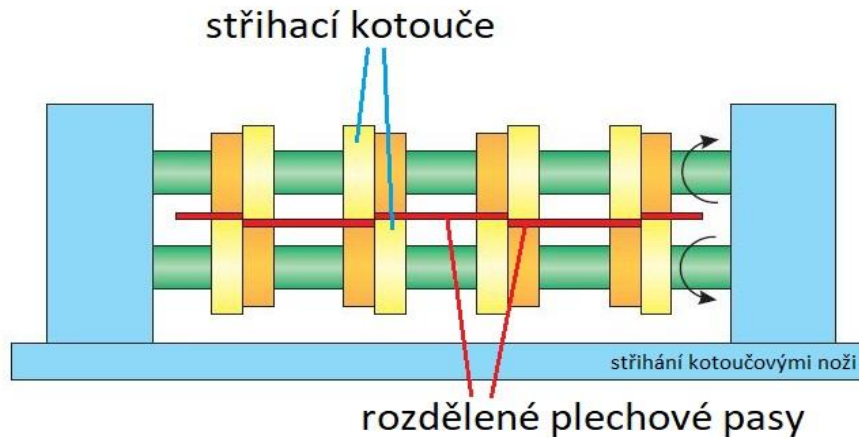
Obr. 8 Stříhání noži na profily a tyče [1]

Výslednice sil na břitu by měla směřovat kolmo vůči směru nejvyšší tuhosti. Při stříhu dutých profilů (trubky čtvercové, obdélníkové, kruhové) je nutné použití vnitřního trnu, aby nedocházelo ze zborcení stěny trubky. Vnitřní trn nezasahuje až do místa stříhu, ale končí v jeho těsné blízkosti. Ve střední a pravé části obrázku (Obr. 8) je znázorněn způsob stříhání I profilu a kruhového profilu, kde platí stejné doporučení s konstantní tloušťkou děleného materiálu.

Metoda stříhání noži na profily a tyče se využívá pro dělení bezpečnostních výztuh ve společnosti Shape Corp., a proto je snahou se při úpravě stříhacího nástroje přihlížet ke zmíněným zásadám a doporučením.

2.1.4.4 Stříhání kotoučovými noži [1] [2]

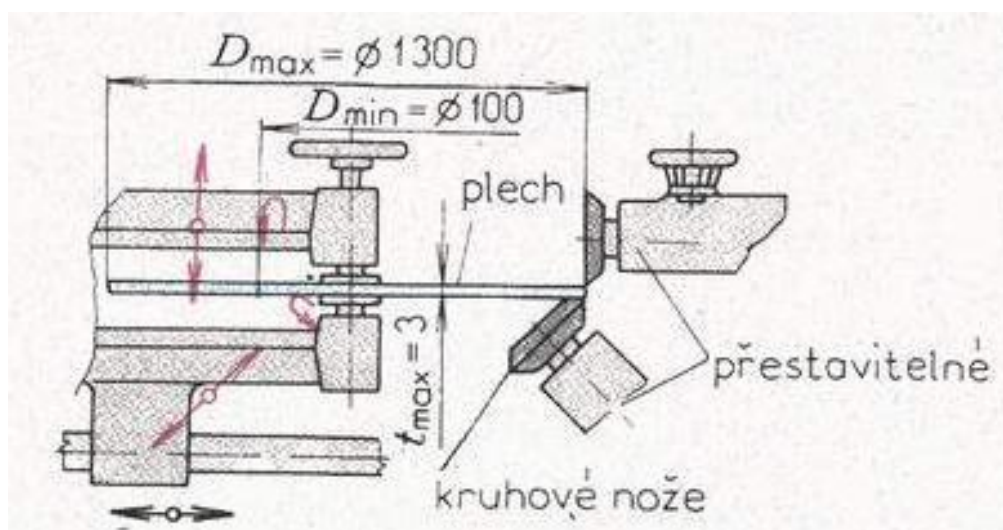
Kotoučové nože se nejvíce používají pro podélné stříhání dlouhých plechových pásů. Dělení zajišťují přesazené stříhací kotouče, které se proti sobě odvalují (Obr. 9). Existují jak jednokotoučové, dvoukotoučové, tak i vícekotoučové mechanismy, jež dokáží dělit plech na několik pásů najednou, a právě tento typ je znázorněn na obrázku (Obr. 9).



Obr. 9 Vícekotoučové nůžky [1]

Jednokotoučové nůžky mají využití převážně v hutích při ostříhování dlouhých tabulí tlustých plechů. Dvoukotoučové nůžky lze dle autora [2] rozdělit následovně:

- kotouče o velkém průměru (pásové nůžky), osy rovnoběžné, pro rovné stříhy do tlouštěk 30 mm,
- nože o velmi malých průměrech, osy rovnoběžné, stříhání na zakřivených čarách,
- okružní nůžky s jedním skloněným nožem (o cca 30 až 40°) do tlouštěk 30 mm,
- nůžky se šikmými oběma noži, tzv. křivkové pro stříhání silně zakřivených obrysů.



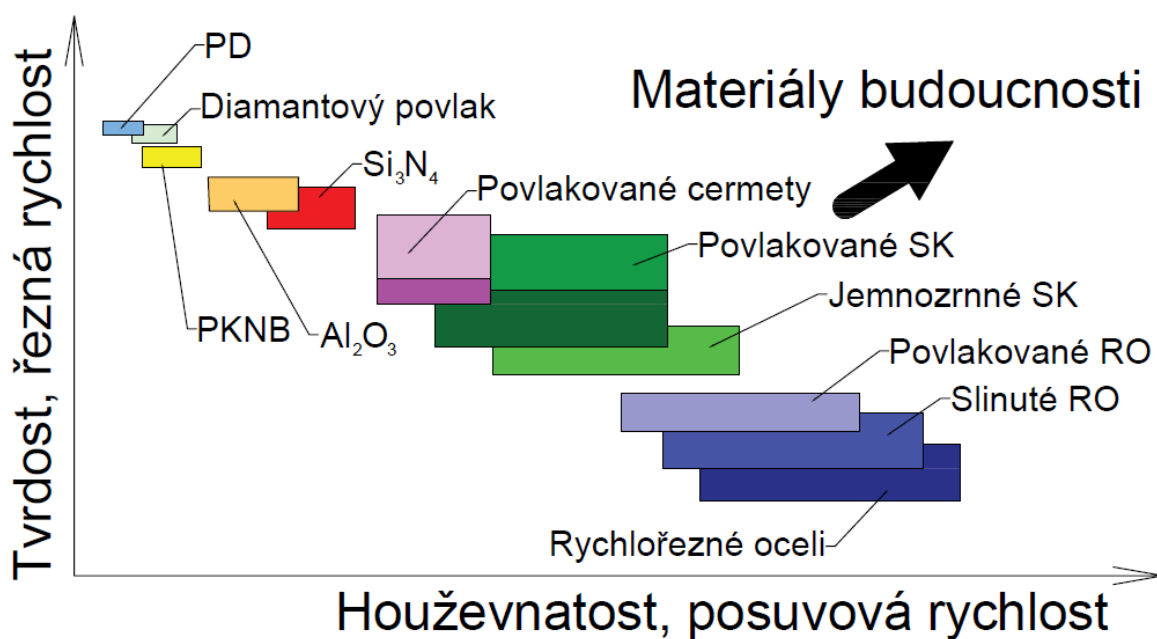
Obr. 10 Křivkové nůžky pro stříhání silně zakřivených obrysů [1]

Pro křivkové stříhání (*Obr. 10*) se používá kombinace válcového a dvoukuželového kola. Osu nástrojů lze přestavit, což je výhodné pro různá nastavení. Pohyb osy obrobku a nastavení nožů má vliv na tvar výsledné křivky.

2.2 Materiály a povlaky střížných nástrojů [4]

Materiály střížného nástroje musí vyhovovat jednak způsobu stříhání, pracovním podmínkám, a technologickým požadavkům. Nejdůležitějšími faktory při výběru střížného nástroje jsou typ nástroje, dělený materiál a počet stříhů. Nejčastěji používaným materiálem střížných nástrojů jsou ocelové materiály, zejména nástrojová ocel nebo nástroje ze slinutých karbidů. Kromě ocelových nástrojů se v závislosti na děleném materiálu používají např. slitiny hliníku, zinku a jiných kovů, dále pak dřevo, zalévací pryskyřice nebo technická pryž a polyuretanové elastomery. Volba konkrétního materiálu většinou vychází ze zkušeností a know-how jednotlivých firem.

Nabízí se otázka, zda je možné pro střížné nástroje využít obdobné materiály jako pro řezné nástroje. Obecně však lze říct, že pro střížné nástroje nelze využít většinu moderních řezných materiálů, a to z důvodu jejich nízké houževnatosti. Materiály, které nejsou vhodné pro stříh, jsou např. cermety, řezná keramika, KNB, Diamant, což lze odvodit z obrázku (*Obr. 11*).



Obr. 11 Vliv vlastností materiálů na pracovní podmínky [13]

Střížné nástroje mají své součásti rozdílně namáhané a jsou na ně kladeny různé požadavky, z tohoto důvodu se obvykle používají rozdílné materiály pro jednotlivé prvky. Střížný nástroj se totiž kromě samotného střížníku (nože) a střížnice (matrice) skládá i z dalších prvků. Mohou to být různé vodící plochy, vyhazovače, přidržovače, dorazy, bloky ad., které jsou vyrobeny např. z ušlechtilé konstrukční oceli, slitin bronzu, hliníkových slitin. Následující text se však zabývá pouze materiálem střížníku a střížnice. Firma Shape Corp. využívá na jejich výrobu zmíněné nástrojové oceli, a z toho důvodu je věnována pozornost právě jim.

2.2.1 Nástrojové oceli [4]

V oblasti střížných nástrojů patří nástrojové oceli (pro své vlastnosti) mezi nejpoužívanější materiály. Jsou slitinou železa, karbidu železa a dalších slitinových prvků, jež svou přítomností zvyšují odolnost proti opotřebení, zjemňují zrno a ovlivňují prokalitelnost. Pro střížné nástroje se používají tyto druhy nástrojových ocelí:

- a) nelegované uhlíkové – oceli 19 0xx až 19 2xx,
- b) legované oceli – oceli 19 3xx až 19 7xx (středně nebo vysoce legované),
- c) rychlořezné oceli – oceli 19 8xx.

Každý z těchto zmíněných druhů nástrojových ocelí má velice odlišné vlastnosti, a proto je nutné zvolit takový druh, který nejlépe vyhovuje požadavkům. Nejčastější požadavky na materiál jsou tyto:

1. houževnatost a tvrdost povrchu,
2. odolnost proti opotřebení,
3. životnost rezných hran,
4. obrobiteľnosť,
5. kalitelnost a prokalitelnost,
6. únavová pevnost,
7. stálost rozměrů během kalení,
8. malá náchylnost k trhlinám během kalení a broušení.

Nemalý vliv na volbě nástrojové oceli má rozhodně cena daného materiálu. To může souviset s velikostí výroby. Například pro malosériovou výrobu je někdy výhodnější snížit z požadavků a zvolit materiál méně legovaný (nižší cena materiálu). Naopak u velkosériové výroby je požadavek na vysokou životnost nástroje, aby například nevznikaly prostoje ve výrobě a na cenu nástroje není kladen tak vysoký požadavek.

V následující tabulce (*Tab. 2*) od Ing. Ladislava Bobčíka [4] jsou vypsány typy ocelí a jejich vhodnost použití. K těmto typům jsou přiřazeny některé konkrétní oceli dle označení ČSN a ekvivalenty dle normy AISI.

Tab. 2 Typy nástrojových ocelí a jejich použití [4]

Skupina	Typ oceli	Značka oceli		Vhodnost použití
		dle ČSN	Dle AISI	
A	ledeburitické subledeburitické	19 436 19 437 19 438 19 573 19 572 19 571 19 581	~D3 ~D2 ~D2 ~A2 ~A7	Na stříhadla s nižším nárokem na houževnatost a dobrými střížnými podmínkami.
B	nízkolegované	19 312 19 713 19 422	~O2	Vyznačují se velkou rozměrovou stálostí, vhodné pro střížníky.
C	pro velké tlaky	19 655 19 614 19 622		Pro stříhadla vystavená velkým střížným silám a vylamování břitů.
D	odolné proti rázu	19 356 19 421	W210 ~L2	Oceli odolné proti velkým rázům.
E	uhlíkové oceli	19 221 19 191 19 222 19 192 19 152 19 132	W1 (1,15 % C) W1 (0,10 % C) W1 (1,00 % C) W1 (0,85 % C) W1 (0,70 % C)	Pro málo namáhaná stříhadla a střížníky
F	odolné proti rázům	19 733 19 732 19 740 19 830	~S1 ~S1 ~M2	Pro stříhadla vystavená velkým rázům a namáhání v ohybu

V předchozí tabulce jsou uvedena určitá doporučení pro použití materiálu na základě testování. Při aplikaci v reálném provozu se lze tímto doporučením inspirovat, avšak často je materiál nástroje volen na základě doporučení specializovaného prodejce střížného materiálu, nebo na zkušenostech dané firmy. Shape corp. je americká společnost, a proto na základě svých zkušeností používá dva střížné materiály dle AISI technické normy (*AISI – American National Standards Institute*). Prvním je nástrojová ocel AISI M2 (~ ČSN 19 830) a druhým je nástrojová ocel AISI D2 (~ ČSN 19 573).

Nástrojová ocel AISI M2 [5]

- Podobnost s ČSN 19 830,
- rychlořezná ocel (HSS),
- tvrdost až 65 HRC po tepelném zpracování (vícenásobné popuštění),
- vysoká odolnost proti opotřebení a rázům,
- vysoká houževnatost,
- relativně dobrá obrobiteľnosť,
- mez pevnosti v tlaku 3250 MPa.

Tab. 3 Chemické složení nástrojové oceli AISI M2 [5]

M2	C		Mn		P	S	Si		Cr		Mo		W		V	
	min	max	min	max			min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
%	0,78	0,88	0,15	0,40	0,035	0,035	0,20	0,45	3,75	4,5	4,50	5,50	5,50	7,00	1,5	2,2

Použití:

Vysokorychlostní nástrojová ocel M2 je vhodná pro nástroje pro tváření za studena, konkrétně pro střížné nástroje, lisovací nástroje, vytlačovací berany a raznice. Dále se používá pro řezné nástroje a různé druhy protahovacích a protlačovacích nástrojů.

Nástrojová ocel AISI D2 (ČSN 19573) [6]

- tvrdost 60 až 62 HRC,
- vysoký obsah chromu,
- vysoká houževnatost, tvrdost,
- vysoká odolnost proti abrazivnímu opotřebení,
- třída obrobiteľnosti 9b (frézování),
- mez kluzu v tlaku 3000 MPa při 61 HRC.

Tab. 4 Chemické složení nástrojové oceli AISI D2 [6]

D2	C		Mn		P	S	Si		Cr		V		Mo	
	min	max	min	max			min	min	max	max	min	max	min	max
%	1,40	1,60	0,10	0,60	0,03	0,003	0,10	0,60	11,00	13,00	0,50	1,10	0,70	1,20

Použití:

Nástrojová ocel AISI D2 je vhodná pro střížné nástroje, lisovací nástroje, zápustky a razníky.

2.2.2 Povlaky [7]

Kvalita střížného nástroje nezávisí pouze na materiálu nástroje a jeho tvaru, ale i na kvalitě povlaku, jímž je deponován. Povlaky na nástrojích se obecně využívají ke zvyšování produktivity procesu, ke snížení výdajů za nástroje, při práci s těžkoobrobitelnými materiály, nebo materiály které mají tendenci ulpívat na nástroji. Přidáním povrchové vrstvy se do určité míry zamezuje otěru nástroje. Otěr je fyzikální (abraze, adheze) a chemické (difúze, chemická reakce kovů) povahy a způsobuje otupení nástroje.

Vhodným využitím povlakování střížného nástroje je docíleno:

- vyšší životnosti nástroje – méně prostojů výrobní linky, nižší náklady na nástroje,
- vyšší kvality stříhu – snížení tvorby otřepů na výrobku,
- nižšího tření nástroje – nižší odpor při stříhu, nižší energetická náročnost,
- zvýšení rychlosti stříhu – zrychlení výrobní linky, vyšší efektivita procesu.

Na základě svých zkušeností používá společnost Shape střížné nástroje s povlakem z TiAlN, jež je nanášen PVD technologií (Physical Vapour Deposition = fyzikální napařování).

Povlak TiAlN

TiAlN je univerzálně použitelný povlak z nitridu titanu a hliníku. Mezi hlavní přednosti povlaku patří odolnost vůči opotřebení, vysoká tvrdost, tepelná odolnost (800 °C) a odolnost proti oxidaci. Jeho specifikum je černo fialové zbarvení. Nanáší se v tloušťce 1 až 4 μm . Odolnost nástroje použitím povlaku TiAlN je až desetkrát vyšší než bez jeho použití. [8]

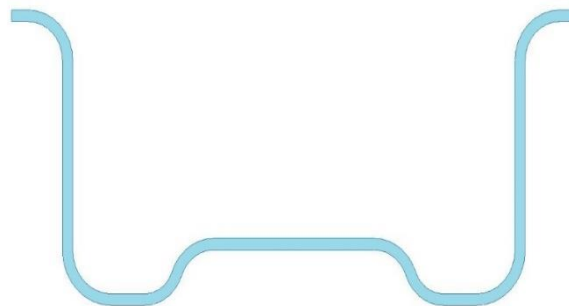
2.3 Představení technologie Shape Corp.

2.3.1 Profily a materiály nárazníků

Velký vliv na způsob dělení bezpečnostní výztuhy nárazníku má tvar jejího příčného profilu a materiál, z něhož je vyrobena. Tvary profilů se odvíjejí od konstrukce válců v profilovací válcovací lince. Většinou se dle složitosti jedná o 15 až 40 průchodů válců za sebou. Vstupem do profilovací linky je rovný plech. Výstupem z profilovací části linky je hotový tvar profilu, jež postupuje dále výrobní linkou. Společnost Shape Corp. vyrábí čtyři typy profilů. Nejjednodušším tvarem je profil tvaru **C**, u kterého není využit proces svařování. Další tvary profilů je nutno svařovat, jedná se o tvary **B**, **D** a tzv. **Monoleg**. Tyto tvary jsou důsledněji popsány níže.

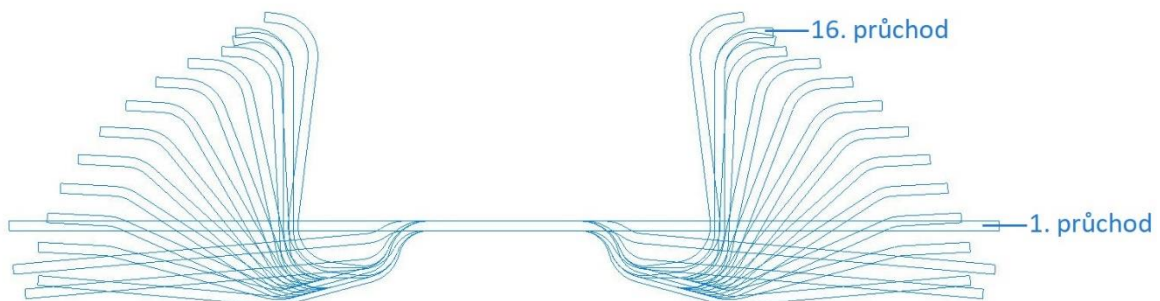
C profil

C profilem je nazýván profil, který svým tvarem připomíná písmeno **C** (Obr. 12). V případě C profilu se nepoužívá svařovací operace. Tím odpadají náklady na nákladnou technologii svařování a další doplňková zařízení, jimiž z důvodu svarového spoje musí linka disponovat.



Obr. 12 Profil tvaru C

Rozvin profilu tvaru C je vyobrazen na obrázku (Obr. 13). Tvar plechu se mění při průchodu jednotlivými průchody válců. Při průchodu prvním párem válců je plech rovný, v posledním průchodu je již vidět konečný tvar profilu, který postupuje dále výrobní linkou.



Obr. 13 Rozvin profilu tvaru C

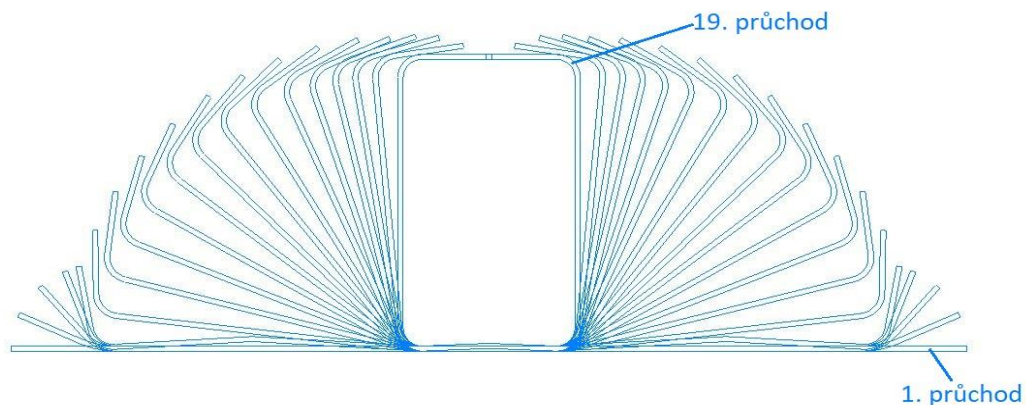
D profil

Způsob tvarování profilu tvaru D (Obr. 14) je obdobné jako u profilu tvaru C.



Obr. 14 Profil tvaru D

Jedná se však o uzavřený profil, a z toho důvodu je nutné ho svařit. Spoj D profilu se vytváří podélným indukčním svařováním. Do místa svaru je induktorem indukováno teplo, čímž dochází k lokálnímu natavení hran svařovaného materiálu. Obě hrany nataveného materiálu jsou přitlačnými válci stlačeny k sobě a po zchlazení vzniká svar.

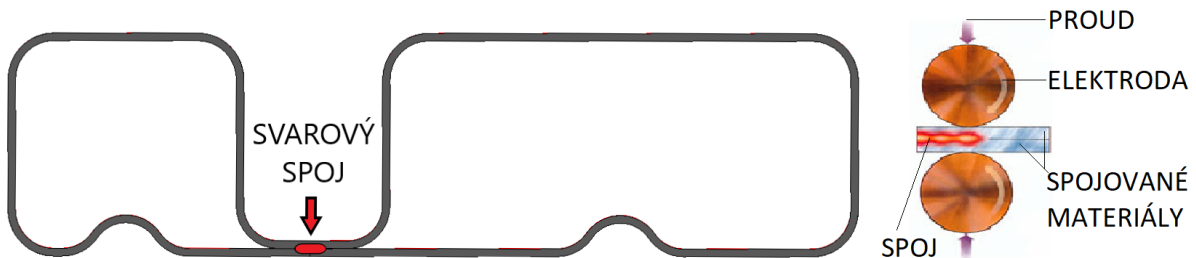


Obr. 15 Rozvin profilu tvaru D

Problematické bývá právě nastavení přitlačných válců. To je nutné nastavit tak, aby proti sobě obě plochy přesně lícovaly a bylo je možné vysokofrekvenčním svařováním spojit. Výztuha musí být svařena po celé své délce – nesmějí se tvořit mezery ve svaru. V případě mezery ve svaru nebo tvaru profilu mimo toleranci se jedná o vadný díl, který musí být bezpodmínečně vyřazen.

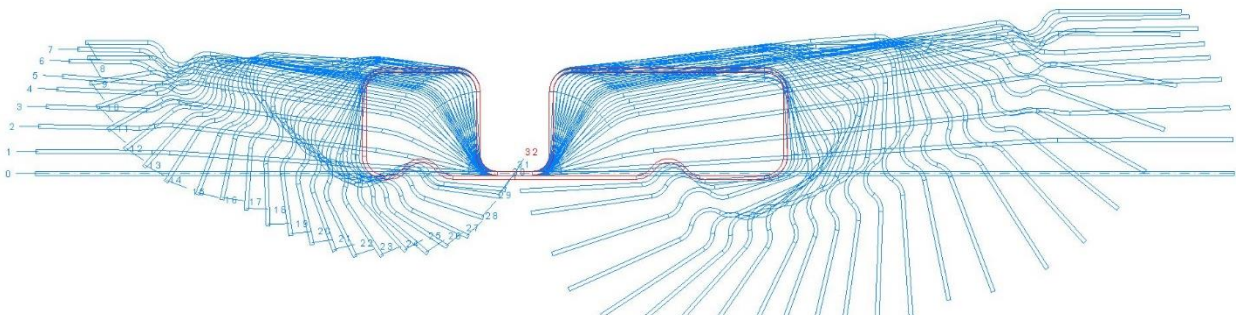
B profil

B profil je rovněž jako D a Monoleg profil uzavřený, a proto je jej nutné spojit svarovým spojem.



Obr. 16 Profil tvaru B

Spoj je v tomto případě proveden odporovým rotačně bodovým svařováním, což je zobrazeno v pravé části obrázku (*Obr. 16*). Rotační bodové svařování využívá dvou otáčejících se kotoučových elektrod, jimiž prochází středofrekvenční střídavý proud, jehož parametry (svařovací čas [ms], prodleva [ms], proud [kA]), určují kvalitu svaru. V případě B profilu se jedná o kombinaci přeplátovaného a tupého spoje.

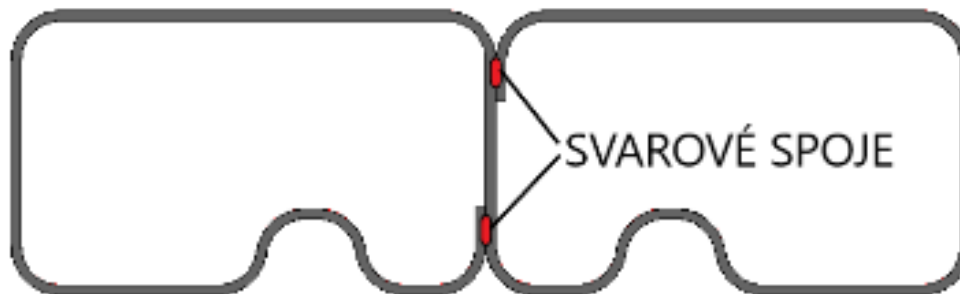


Obr. 17 Rozvin profilu tvaru B

Rozvin plechu je mnohem složitější než u předchozích dvou způsobů. Z tohoto důvodu se nejčastěji využívá přibližně 30 průchodů válců, což je patrné z obrázku (*Obr. 17*), kde je konkrétně 32 průchodů.

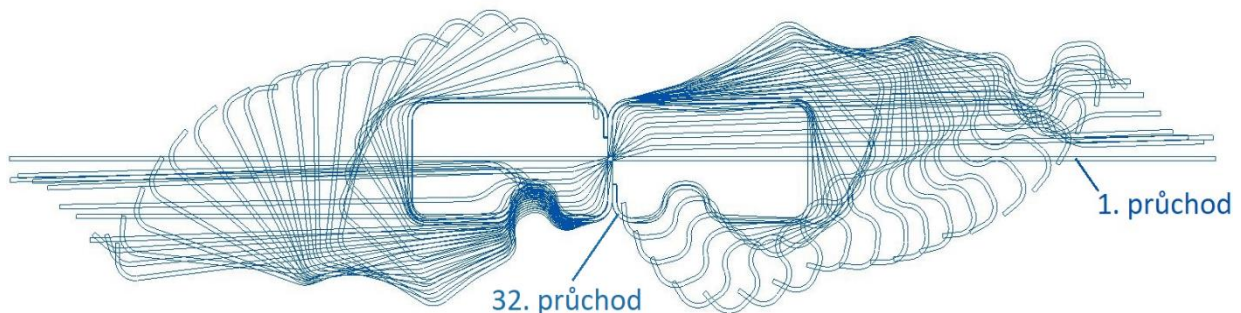
Monoleg profil

Nejsložitějším profilem na výrobu je Monoleg profil. Již bylo zmíněno, že jde o uzavřený profil. U monoleg profilu se ale plech profiluje ve tvaru číslice osm. To má za následek, že je profil nutné svařovat z jeho vrchní i spodní strany.



Obr. 18 Profil tvaru Monoleg

Ke spojení profilu se využívá kontinuálního laserového svařování. Jedna technologická hlava je z vrchní strany a druhá ze strany spodní. Každá ze svařovacích hlav využívá pevnolátkový diskový laser o výkonu 6000 W, konkrétně Trumpf TruDisc6001. Laserové svařování se zde používá z důvodu těžké dostupnosti k místu svaru, malé teplem ovlivněné oblasti a vzhledu svaru. Laserový svazek lokálně natavuje materiál svařovaných kontaktních ploch. Natavené materiály se promísí a po přjetí paprsku opět ztuhnou, čímž vznikne svar. Se zvyšujícími pevnostmi používaných ocelí je proces laserového svařování mnohem perspektivnější a efektivnější, neboť umožňuje dosáhnout vyšších svařovacích rychlostí.



Obr. 19 Rozvin profilu Monoleg

Z hlediska profilovací linky je Monoleg profil také nejsložitější. Tento konkrétní profil je před svařovacím procesem vyroben průchodem 32 párů profilovacích válců. Tvar profilu v oblasti jednotlivých průchodů je zobrazen na obrázku (Obr. 19).

Materiály profilů

Nároky na kvalitu výztuhy nárazníku jsou obecně velmi vysoké (jedná se o pasivní bezpečnostní prvek vozidla), což platí i pro materiál, ze kterého se vyrábí. Pro tuto aplikaci vyvinula společnost SSAB speciální řadu vysokopevnostních martenzitických ocelí Docol®. Výhodou martenzitických ocelí je jejich velmi vysoká mez kluzu (R_e) a extrémně vysoká mez pevnosti v tahu (R_m). Další výhodou je dobrá tažnost a svařitelnost. [9] Pro profilovací linky se dodává ve formě plechových svitků. Ve společnosti Shape se pro monoleg profil využívá konkrétně martenzitická ocel Docol® 1500M.

Docol® 1500M

Docol® 1500M (přesné označení Docol CR 1220Y 1500 T – MS) je martenzitická vysokopevnostní ocel používaná výhradně v automobilovém průmyslu na výrobu bezpečnostních prvků vozidel. Disponuje zvýšenou odolností proti nárazu při zachování relativně nízké hmotnosti. Je jednou z nejpevnějších za studena tvářených ocelí na trhu. Její mez kluzu (R_e) se pohybuje v rozmezí 1220 až 1520 MPa. Mez pevnosti (R_m) je dokonce v rozmezí 1500 až 1750 MPa. Dodávána je v tloušťkách od 0,5 mm do 2,1 mm a šířce plechu až 1527 mm. Dodává se i v pozinkované variantě. Povlak se nanáší galvanickým pokovováním (EG). Obsahuje 99 % zinku. Tento povlak zabraňuje korozi výrobku, avšak znesnadňuje výrobu, např. proces svařování je obtížnější. Varianta bez povrchové úpravy (UC) se konzervuje olejem, aby materiál při manipulaci nekorodoval. Výrobek, který je bez povrchové úpravy, musí být na konci výrobního procesu lakován. [9] V tabulkách (Tab. 5) a (Tab. 6) jsou uvedeny mechanické a chemické vlastnosti této oceli.

Tab. 5 Mechanické vlastnosti vysokopevnostní martenzitické oceli Docol® 1500M [9]

Označení oceli	Standard	Povlak		Mez kluzu (smluvní) $R_{p0,2}$ [MPa]	Mez pevnosti R_m [MPa]	Min. tažnost [%]	Min. vnitřní poloměr při ohybu o 90°
Docol® 1500M	VDA 239-100:2016	UC konzervace olejem	EG 99 % Zn	1220 až 1520	1500 až 1750	3	$4 \times t$

Tab. 6 Chemické složení vysokopevnostní martenzitické oceli Docol® 1500M [9]

Označení oceli	C (max %)	Si (max %)	Mn (max %)	P (max %)	S (max %)	Al (max %)	Nb+Ti (max %)	Cr+Mo (max %)	Cu (max %)	B (max %)
Docol® 1500M	0,28	0,40	1,30	0,02	0,01	0,015	0,10	1,00	0,20	0,01

Kvalita oceli Docol® 1500M má značný vliv na dělení profilů. Z důvodu velmi vysoké meze pevnosti (až 1750 MPa) jsou kladeny velmi vysoké nároky na dělicí zařízení. Tento fakt

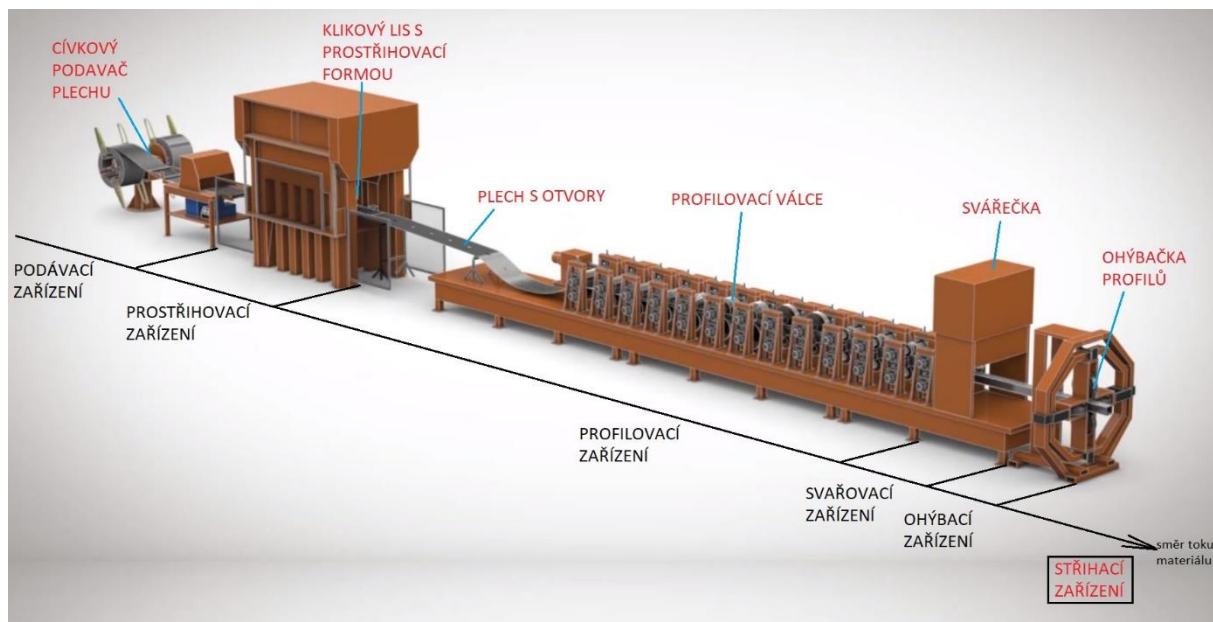
ovlivňuje velikost střížné síly, protože čím vyšší mez pevnosti materiálu, tím vyšší střížná síla a tím vyšší nároky na hydraulický pohon střížného nože. Dále tomuto faktu musí být přizpůsobena kvalita střížného nože a střížnic tak, aby životnost nástroje byla co nejvyšší. Osvědčené materiály střížného nástroje používané ve společnosti Shape jsou uvedeny v kapitole (2.2.1).

2.3.2 Rollforming výrobní linka

Co je to Rollforming? Jedná se o pojem převzatý z angličtiny (roll = válec; forming = formování) a znamená formování profilů pomocí válců. Technologií tváření za studena se tvarují přesné a složité průřezy z tvrdých kovů např. z oceli nebo z nerezové oceli. Na rozdíl od klasického válcování nedochází ke změně tloušťky vstupního materiálu.

Při výrobě profilů prochází linkou kontinuální pás plechu, ve kterém jsou nejprve vytvořeny otvory, následně je tvarován, svařen, ohýbán, a nakonec je z kontinuálního profilu odstřížen hotový díl. Tento způsob výroby s sebou nese jisté výhody, ale i nevýhody. Výhodou je, že se všechny operace vytváří kontinuálně na jedné lince, a tudíž není nutná manipulace s polotovarem mezi jednotlivými operacemi. Tím je zajištěna vysoká produktivita výroby. Nevýhodou je, že při odchylce od požadovaného rozměru nebo tvaru je chyba zjištěna, až když díl projde celou výrobní linkou. Vznikne tak poškození i u dalších dílů, které se již ve výrobní lince nachází.

Shape rollforming linka je komplexní zařízení tvořené několika hlavními technologickými stanovišti umístěnými za sebou ve směru toku materiálu tak, jak je to vyobrazeno na obrázku (Obr. 20).



Obr. 20 Schéma Rollforming výrobní linky (zdroj: Shape Corp.)

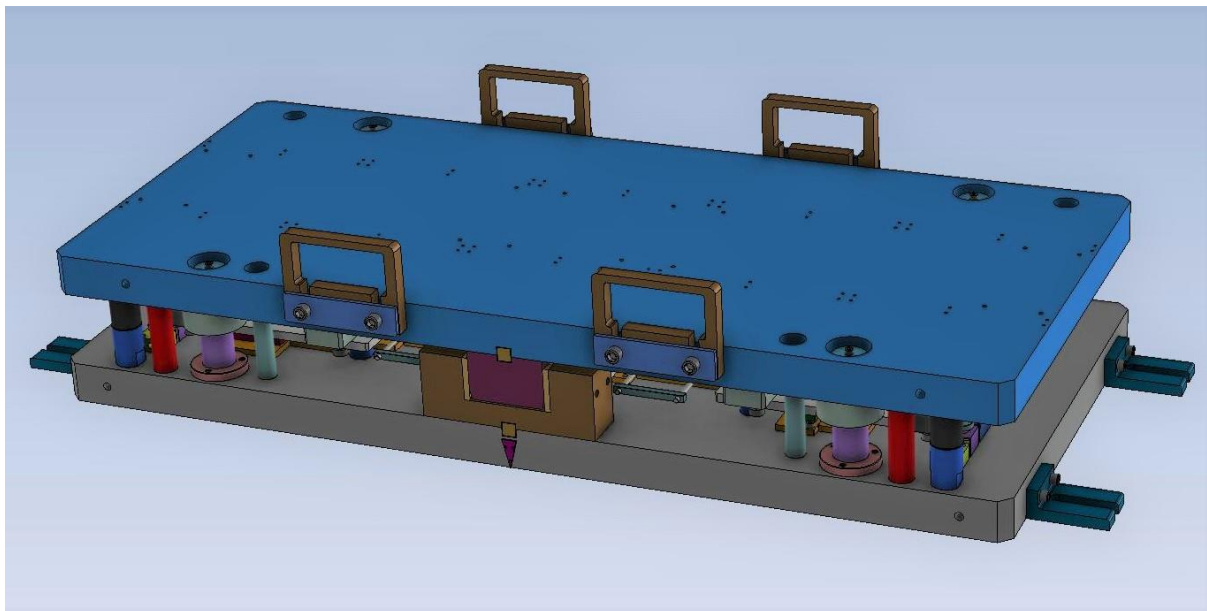
Na začátku procesu je polotovar. U Shape rollforming linky se jedná o plechový svitek o hmotnosti až 7 tun, který je nasazen na **cívkový podavač**. Plech je z podavače odmotáván a dopravován na první tvářecí operaci – střížení otvorů. Otvory se vytváří **prostřihovací formou**

uloženou v klikovém lisu. Druhá tvářecí operace je profilování. Plech (již s vytvořenými otvory) prochází jednotlivými průchody **profilovacích válců**. Po průchodu posledním párem válců je tvar profilu hotový a postupuje na třetí operaci, kterou je svařování pomocí **kontinuálního svařovacího zařízení**. Svařený profil má dostatečnou tuhost, a proto je možné ohnout na požadovaný poloměr. Ohnutí se provádí na speciálním **ohýbacím zařízení**. Vytvořený kontinuální profil je nutné na konci výrobní linky dělit na jednotlivé díly požadované délky, což zajišťuje **stříhací zařízení**.

Jednotlivé nejdůležitější technologie výrobní linky Shape jsou důsledněji popsány dále v textu.

Prostřihování otvorů

Otvory se prostřihují pomocí střížníků a matic uložených v prostřihovací formě. Střížníky jsou připevněné k vrchní pohyblivé části formy a matrice ve spodní nepohyblivé části formy. Pohyb vrchní části formy zajišťuje klikový lis vyvozuující zatížení 250 tun.



Obr. 21 Prostřihovací forma

Prostřihováním lze vyrobit běžné i speciální tvary otvorů. Běžné tvary střížníků a matic (kruhový, čtvercový, obdélníkový, oválný) jsou standardizované v celé řadě velikostí a jejich dodání je možné od celé řady dodavatelů. Speciální tvary jsou vyrobeny na zakázku a používají se pouze v případě, kdy není možné použít běžný standardizovaný tvar.

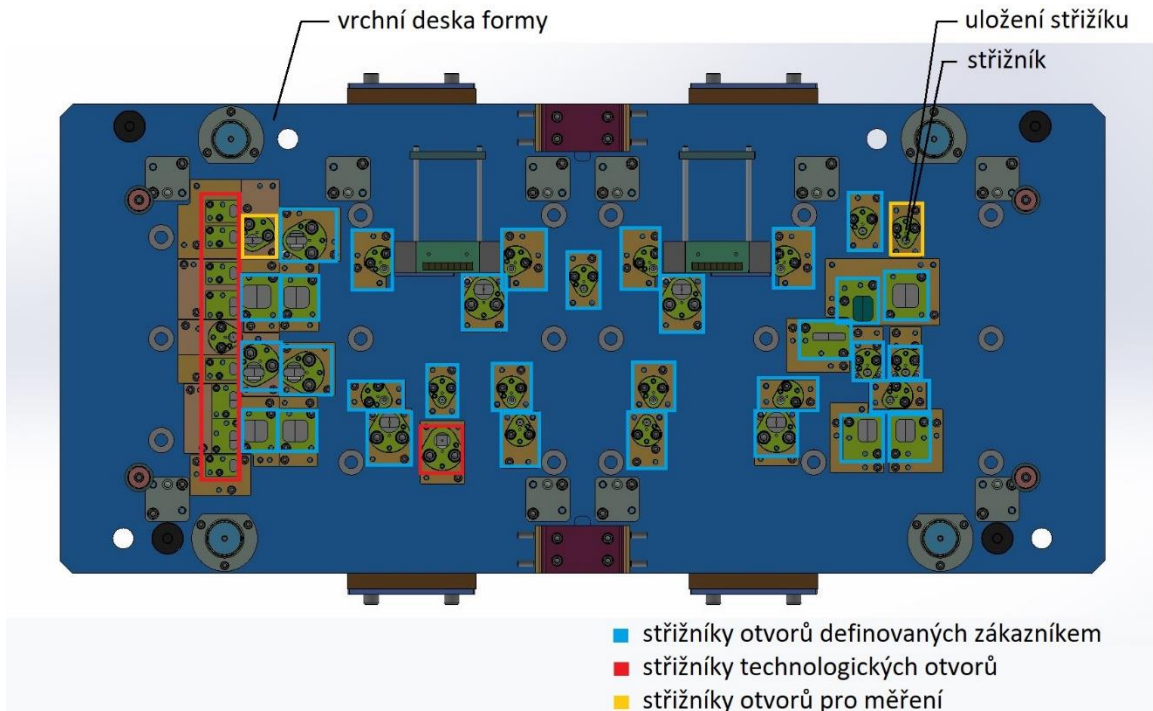
V každém vyráběném profilu společnosti Shape se vytvářejí otvory, což má tři důvody:

1. požadavek zákazníka,
2. technologický požadavek při výrobě,
3. měření, kontrola rozměrů dílů na kontrolním přípravku.

Moderní automobily lze vybavit množstvím výbavy, což má dopad i na bezpečnostní výztuhu nárazníku. V současné době nemá pouze funkci bezpečnostního prvku, ale funguje i jako uchycovací prvek například pro radar (LIDAR), ostříkovače světlometů, klakson, tažné oko,

přichytky atp. Pro zmíněné prvky se vytváří otvory **definované zákazníkem**, u kterých je nutné dodržovat předepsanou velikost, polohu a tvar.

Pro zlepšení vyrobiteľnosti výztuhy jsou na výrobku přítomny **technologické otvory**. Je možné měnit jejich polohu, tvar a počet. Používají se v místě dělení profilu, aby napomáhaly při samotném stříhu. Jejich vhodným použitím lze snížit střížnou práci při dělení profilu, zvýšit životnost střížného nástroje a zvýšit kvalitu střížné plochy. Při nevhodném použití se může profil deformovat (praskliny, změna profilu).

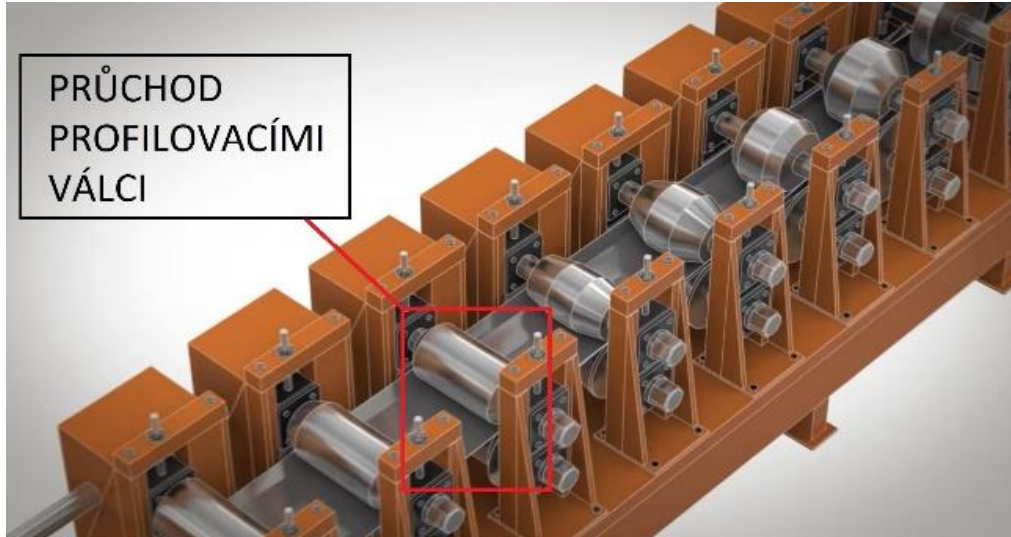


Obr. 22 Rozmístění střížníků v prostřihovací formě dle požadavku na otvor

Třetím typem jsou otvory, jež jsou důležité pro **kontrolu** součásti. Jedná se o dva referenční otvory a slouží k uložení součásti do speciálního měřicího zařízení. Jejich vzájemná poloha nesmí být změněna. Na dělení materiálu však nemají žádný vliv.

Profilovací válcování

Profilovací válcování je technologická operace tváření za studena, kdy do procesu vstupuje rovný plech a vystupuje požadovaný profil. Tvary profilů vyráběných ve společnosti Shape a jejich popisy jsou v kapitole (2.3.1).



Obr. 23 Profilovací linka

Nástrojem je dvojice poháněných profilovacích válců. Jedna dvojice válců se nazývá **průchod**. Celý proces profilování se provádí pomocí několika průchodů, jejichž počet je dán složitostí tvaru profilu. Profilovací stroje se stavějí s patnácti, čtyřiceti, ale i více průchody.

Tvar profilu má velký vliv na tvar geometrie střižného nástroje. Tvar nože a matrice se uzpůsobuje podle tvaru střihaného profilu tak, aby byla oddělována **konstantní tloušťka materiálu** v každém okamžiku stříhu.

Výstupem profilovacího zařízení jsou základní profily:

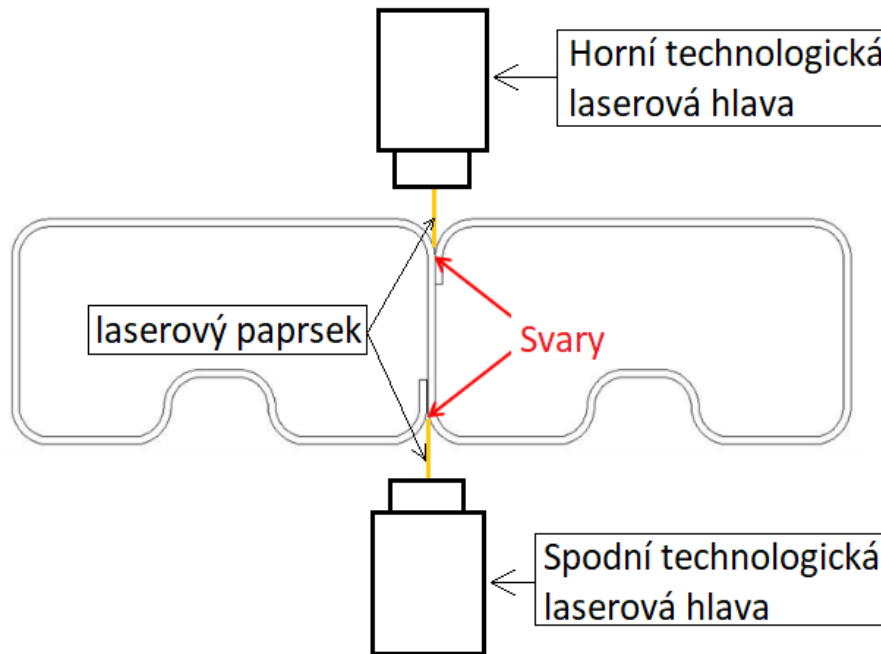
- **Otevřené** – profil ve tvaru písmene C,
- **Uzavřené** – profil ve tvarech písmen D, B a speciálního tvaru MONOLEG.

Zmíněné tvary profilů se vyrábějí v různých rozměrech a úpravách dle přání zákazníka, z toho důvodu se téměř pro každý projekt navrhuje rozdílný tvar střižného nástroje.

Svařování

Svařování se v rollformingu používá pouze pro uzavřené profily. Jedná se o kontinuální svařování, kdy je profil podélně spojován po celé své délce. Požadavkem je zamezit vzniku mezer ve svaru. Mezery ve svaru snižují pevnost výztuhy, což je u bezpečnostního prvku nepřijatelné.

Dle typu profilu se používají různé druhy svařovacích zařízení. Společnost Shape používá indukční, odporové a laserové svařování. V kapitole (2.3.1) je vysvětleno jaké technologie svařování jsou vhodné pro daný typ profilu. Tato práce se zabývá dělením Monoleg profilu, a proto je v této kapitole věnována pozornost technologii svařování tohoto typu profilu.



Obr. 24 Schéma svařování Monoleg profilu

Na svařování Monoleg profilu se používá technologie laserového svařování. Využívá se metoda keyhole (= klíčová dírka). Využitím keyhole metody je svar desetkrát hlubší, než je jeho šířka, což je pro pevnost profilu velkou výhodou. Tato metoda vyžaduje velmi vysoký výkon, a proto je zdrojem laserového paprsku pevnolátkový diskový laser o výkonu 6000 W. Předností laserového svařování je menší teplem ovlivněná oblast, větší hloubka průvaru, kvalita a vzhled svaru. Pro kvalitní svar je důležité správné nastavení ohniskové vzdálenosti a vhodně nastavený svařovací výkon. Profil je svařen z vrchní i spodní strany (Obr. 24), z toho důvodu jsou použity dvě technologické hlavy (horní a spodní).

Svary a velká hloubka průvaru **negativně ovlivňují** stříh materiálu. Svarové spoje mají vysokou tvrdost, což ovlivňuje životnost střížného nástroje a kvalitu stříhu. V místě kontaktu střížného nože se svarem obvykle dochází k abrazivnímu a adhezivnímu opotřebení nástroje. Kvalita stříhu nadměrně opotřebovaným nástrojem je nevyhovující. Proto je snahou upravit:

- a) střížný nástroj – např. úprava tvaru nástroje v místě kontaktu se svarem
- b) výrobek – např. nástřih materiálu v místě svaru (technologickým střížníkem v raznici)

Ohýbání

Ohyb součásti se provádí speciálním ohýbacím zařízením. Svařený profil vstupující do ohýbacího zařízení se ohýbá pomocí několika válců či bronzových bloků. Výztuha může být ohnuta buď konstantně v celé své délce nebo proměně. Technologie proměnného ohybu je

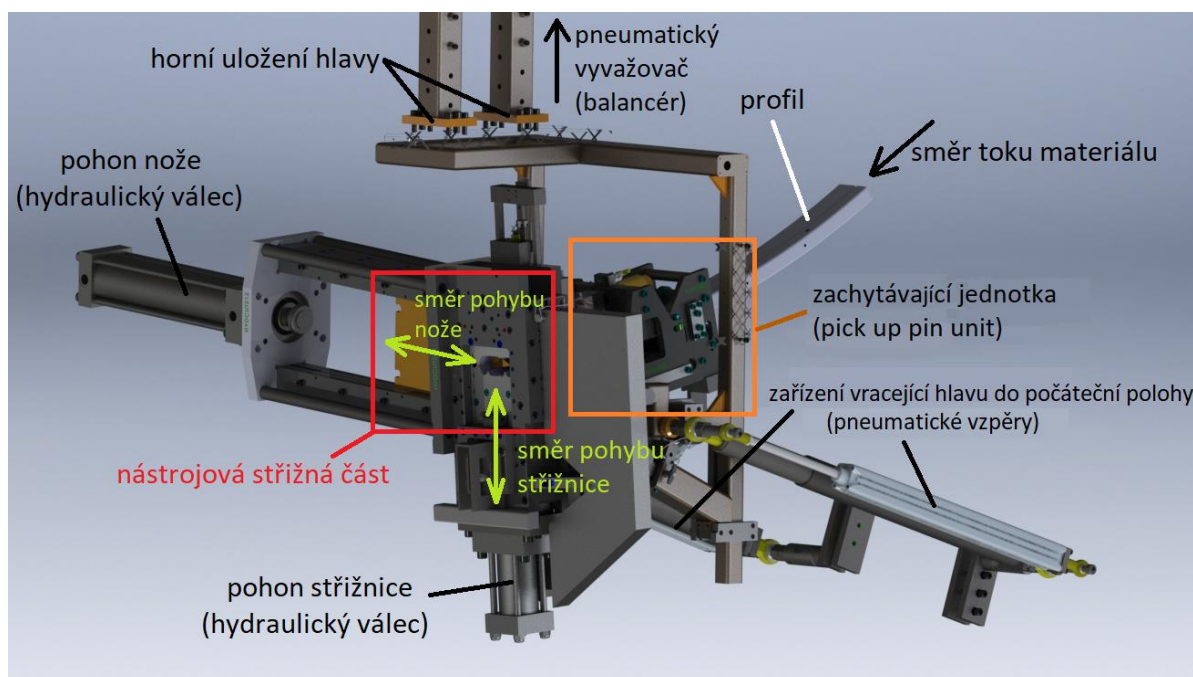
společností Shape corp. celosvětově patentována. Dělení součásti není ohybem profilu přímo ovlivněno.

Střih

Dělení profilu vystupujícího z výrobní linky se provádí stříhacím zařízením, které se ve společnosti Shape nazývá **stříhací hlava**. Skládá se z nástrojové střížné části a dalších částí podporujících proces stříhu. Konstrukce stříhací hlavy se pro každý druh profilu výrazně liší, a tak ji není možné použít jako univerzální dělicí zařízení. Využití stejné stříhací hlavy je možné v případě, kdy mají projekty rozdílný ohyb, ale shodný druh profilu. Pak lze vyměnit pouze nástrojovou střížnou část a zbytek zařízení zůstává stejný. Tím se snižují náklady na jeden kus bezpečnostní výztuhy. Teorie dělení bezpečnostní výztuhy je klíčové téma této práce, a proto je mu věnována celá následující kapitola (2.3.3).

2.3.3 Dělení Monoleg profilu

Závěsná stříhací hlava pro dělení monoleg profilu je unikátní technologie firmy Shape. Tato technologie umožňuje dělit profily různého ohybu bez nutnosti zastavení linky. Skládá se ze střížné části, ze zachytávající jednotky, hydraulického pohonu nože a střížnice, z pneumatického vyvažovacího zařízení (balancér), chlazení a ze zařízení, které po každém stříhacím cyklu vrací hlavu zpět do výchozí polohy.



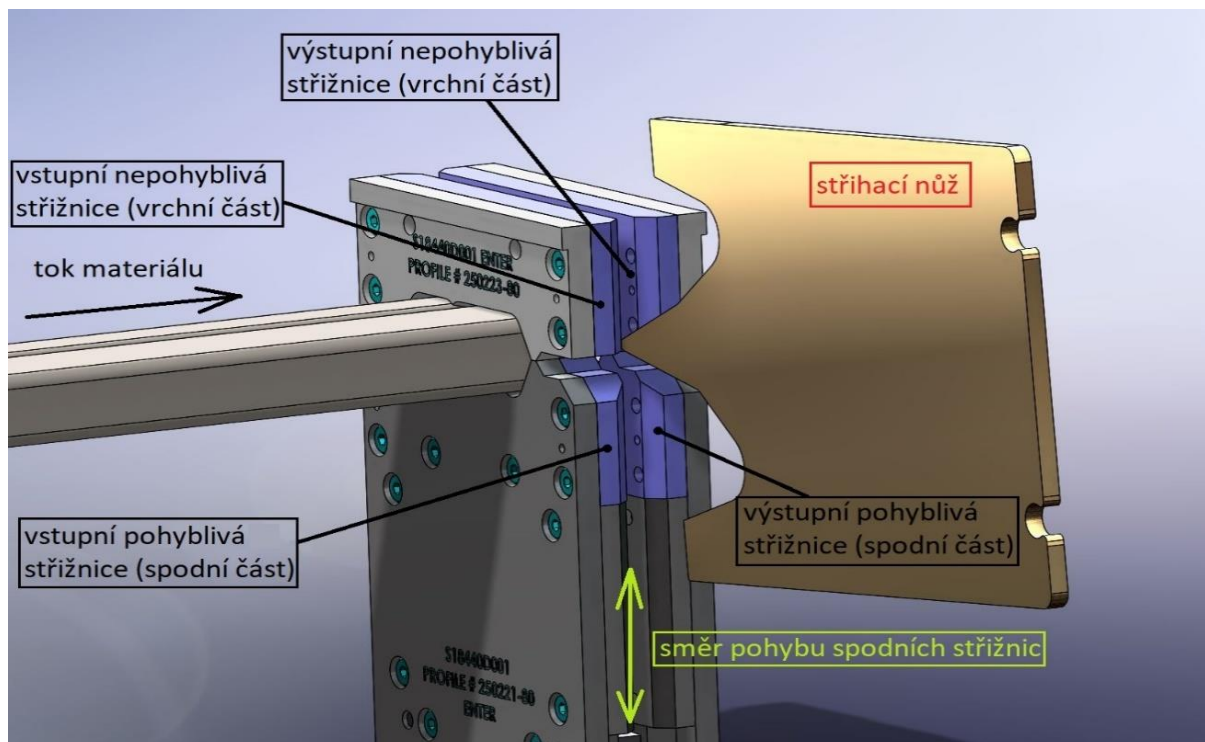
Obr. 25 Stříhací hlava pro monoleg profil

Stříhací hlava je zavěšena na jeřábu na pneumatickém **vyvažovači** (balancéru), který hlavu „nadržuje“ tak, aby nedocházelo k ovlivňování tvaru dílu vlivem tíhové síly stříhací hlavy. Součástí stříhací hlavy je zachytávající jednotka „pick up unit“. Jednotka vysouvá **tvarový kolík**, který zapadne do předem určené **technologické díry** v profilu a část této jednotky se dává do pohybu, než dojde k dotyku dorazové kostky se zbytkem jednotky pohyblivé části a k sepnutí **indukčního čidla**. Po sepnutí čidla se dále pohybuje celá hlava i s profilem a začne dělicí cyklus, který probíhá následovně:

- **vysunutí** hydraulického válce **střížnice**,
- **vysunutí nože** a **oddělení** profilu,
- **zasunutí nože**,
- **zasunutí** tvarového **kolíku** zachytávající jednotky,
- **zasunutí** válce **střížnice**,
- pomocí **pneumatických válců** je hlava **stažena** zpět do **výchozí** polohy a celý cyklus se začíná **opakovat**.

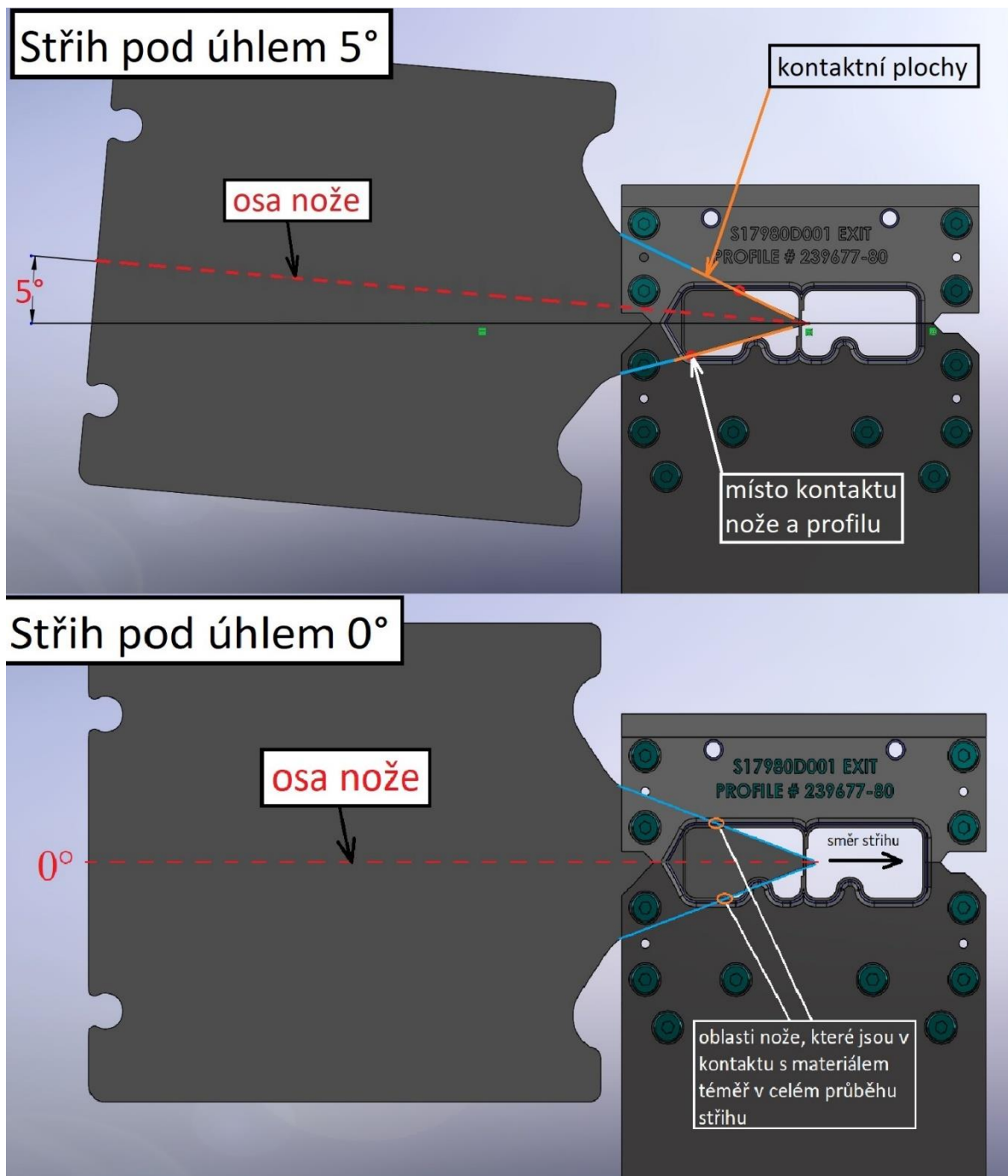
2.3.3.1 Střížný nástroj monoleg profilu

Střížná část hlavy (střížný nástroj) zajišťuje požadované dělení profilu na jednotlivé díly. Skládá se ze stříhacího nože a páru střížnic. Obě střížnice jsou rozděleny na horní a spodní část. Horní části střížnice (vstupní i výstupní) jsou nepohyblivé, naopak spodní části střížnice (vstupní i výstupní) jsou pohyblivé a to proto, aby mohl na začátku každého cyklu profil volně postupovat střížným nástrojem až do doby, kdy dojde k sepnutí indukčního čidla. V momentě sepnutí indukčního čidla je dosaženo správné délky dílu, sevře se pohyblivá část profilu a následuje stříh.



Obr. 26 Střížný nástroj pro monoleg profil

Specialitou nástroje je stříh pod úhlem 5° (Obr. 27). Osa střížného nože je vůči ose profilu natočena pod úhlem 5° , aby se v průběhu stříhu neustále měnilo místo styku nože s materiálem a tím se zvýšila jeho životnost a více rozložilo opotřebení. Při použití úhlu 0° je životnost střížného nože výrazně kratší, protože jsou ve styku s materiálem (v téměř celém průběhu stříhu) pouze dvě oblasti hrany nože (Obr. 27).

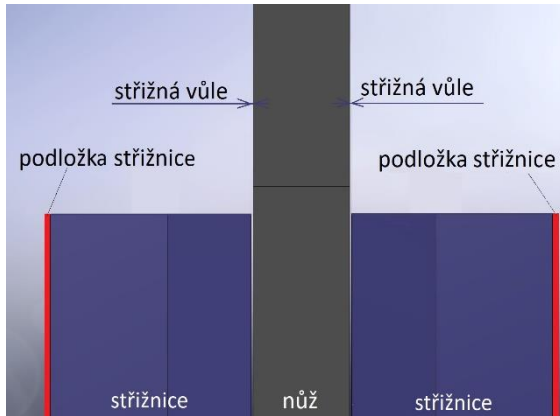


Obr. 27 Porovnání natočení střížného nože o 5° a o 0°

Nástroj má dvě střížné hrany, což je dáno tvarem nože a rozložením střížnic z obou stran střížného nože. Jedním stříhem jsou proto ostříženy hrany dvou dílů najednou (hrana oddělené výztuhy vystupující z linky a hrana dílu, který teprve bude prostupovat střížným nástrojem). Tato skutečnost má pozitivní vliv na výrobní náklady, protože nemusí být použity dvě stříhací

zařízení, avšak negativní vliv na velikost střížné síly, která je dvojnásobná oproti dělení jedné plochy.

Přilehlé hrany a plochy střížnic se vlivem otěru postupně opotřebovávají, což zhoršuje kvalitu



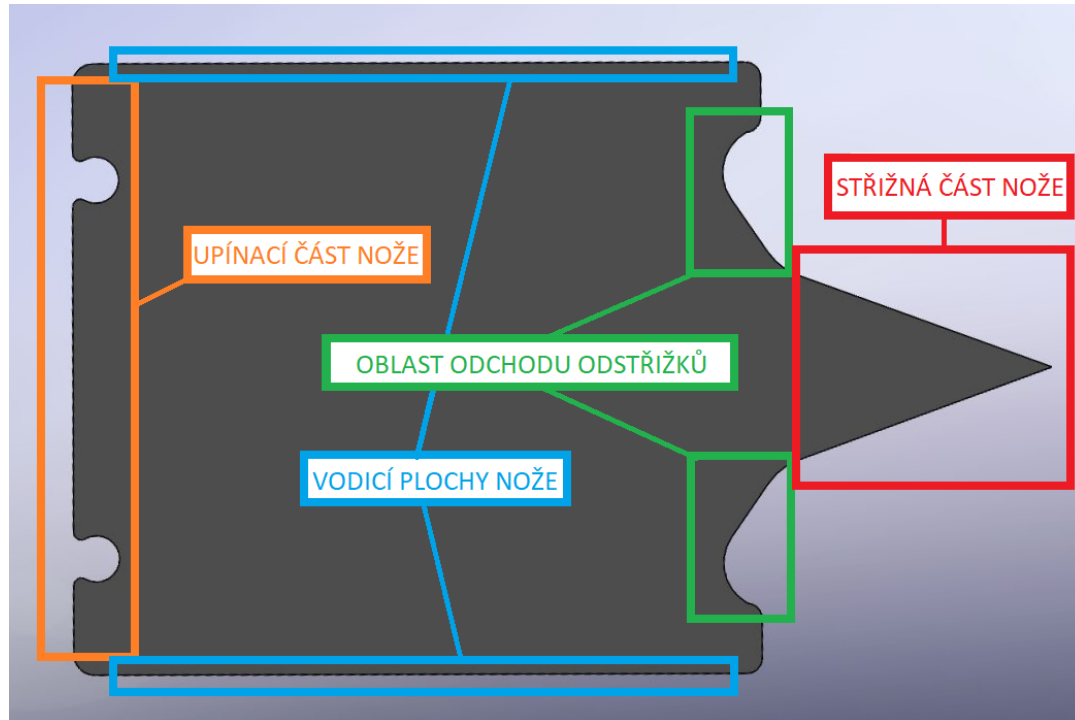
Obr. 28 Pohled na střížný nástroj shora

stříhu. Plochy střížnic se proto úběrem materiálu upravují na vodorovné rovinné brusce. Úběrem materiálu by se však změnila střížná vůle (ovlivnění stříhu), a proto je odebraná vrstva materiálu ze střížnice nahrazena podložkou o tloušťce odebrané vrstvy (Obr. 28). Tímto opatřením je zajištěna stále stejná střížná vůle. Protože má nástroj rovnou dvě střížné hrany, musí být dodržena střížná vůle mezi střížnicí a nožem na obou stranách nástroje (viz Obr. 28). Důležitost **střížné vůle** je vysvětlena v kapitole (2.1.2).

Zásady pro samotný stříh vycházejí z kapitoly (2.1.4.3) Stříhání noži na profily a tyče. Ideálně by měla být oddělována konstantní tloušťka materiálu po celou dobu stříhu a výslednice sil na břitu by měla směřovat kolmo vůči směru nejvyšší tuhosti. Těchto zásad je možné pro konkrétní profily docílit úpravou tvaru nože, střížnic a použitím technologických střížníků v děrovací formě.

2.3.3.2 Stříhací nůž

Stříhací nůž se vyrábí elektrojiskrovým obráběním z polotovaru, jímž je deska z materiálu AISI M2 (nástrojová rychlořezná ocel) (2.2.1). Tloušťka desky je 9,21 mm. Polotovar je deponovaný TiAlN povlakem (2.2.2), technologií PVD (fyzikální napařování). Skládá se z části upínací, střížné, vodící a z části pro odchod odstřížků (Obr. 29).



Obr. 29 Popis střížného nože

Upínací část slouží k uchycení nože k pístu lineárního hydromotoru, který zajišťuje jeho pohyb. Mezi pístem a nožem je dále redukční část. Redukční část má několik délkových variant a kompenzuje fakt, že opotřebený nůž se přeastřuje odříznutím opotřebené části nože (elektrojiskrovým obráběním), čímž se nůž zkrátí, a tudíž je ho nutné opět prodloužit pomocí redukční části do nominální délky. Upínací část je přesně definována, její rozměry a tvar se nemění.

Vodící plochy slouží k přesnému vedení nože ve stříhací hlavě. Je nutné jejich mazání a udržování v čistotě, aby nedocházelo k zadírání mechanismu stříhu. Vzdálenost vodících ploch a jejich tolerance jsou stejně jako u uchycovací části přesně definovány.

Další částí je oblast pro odchod odstřížků. Vhodným návrhem této oblasti, lze zamezit znečištění vodících ploch a jejich následnému zadírání. Odstřížky musí vždy opouštět stříhací hlavu, aby nedošlo k jejímu poškození.

Střížná část nože bývá nejčastěji ve tvaru špičky. Tvar špičky je ovlivněn jak umístěním technologických otvorů pro stříh na profilu, tak i pevností materiálu. Samotný vrchol špičky by se neměl dostávat do kontaktu s profilem proto, aby byla minimalizována možnost zlomení nože. Vrchol (špička) nože nemusí směřovat do osy děleného profilu, ale může směřovat

přiměřeně mimo osu vzhledem k tvaru profilu. Střížné části pak nejčastěji pokračují nesymetricky špičatým tvarem, který proti ose stříhu obvykle svírá úhel mezi (15-30 stupni).

Na základě předchozích zkušeností z výroby lze při návrhu tvaru nože vycházet z níže vypsanych zásad:

- nižší úhel stříhu, větší část síly jde proti střížnici – lepší kvalita dělené plochy,
- čím je nižší úhel stříhu, tím větší riziko deformace nože – úplné zničení nože,
- čím je větší šířka profilu, tím je delší špička nože – nižší počet přestřžení nože,
- úhel špičky – komplexní záležitost, kterou je nutno upravit s ohledem na pozici svaru, možnosti umístění technologických otvorů apod.

2.3.3.3 Výroba a údržba stříhacího nože

Stříhací nůž se navrhuje, vyrábí a opravuje přímo v prostorách společnosti Shape. Nejprve se vytváří 3D návrh v CAD¹ softwaru SolidWorks. 3D data se dále exportují na formát Drawing Exchange Format (dxf²), který je kompatibilní se softwarem zařízením na výrobu nožů. Vyrábí se elektrojiskrovým obráběním z polotovaru, jímž je deska z materiálu AISI M2 (ČSN 19830). Polotovar je deponovaný TiAlN povlakem, technologií PVD (fyzikální napařování).

Elektrojiskrové obrábění patří mezi speciální metody obrábění a pracuje na principu odebírání materiálu drobnými elektrickými výboji (jiskrami) mezi obrobkem a elektrodou ponořenými v dielektriku.

Firma Shape disponuje drátovou řezačkou **Fanuc Robocut α-c400ib**. Zařízení je plně programovatelné a využívá řídicí systém FANUC 31 i-WB. Systém umožňuje řízení elektrických výbojů, křížového stolu (pojezd v osách X, Y, Z), řezání materiálu pod úhlem (až ± 45°) a také automatické navlékání drátu. Elektrodou je mosazný drát o průměru (0,1 až 0,3) mm, který je napnutý mezi dvěma rameny pomocí dvou servomotorů, které mohou být rozdílné programovány, takže řez může být i šikmý. [10]



Obr. 30 Drátová řezačka Fanuc Robocut α-c400ib [10]

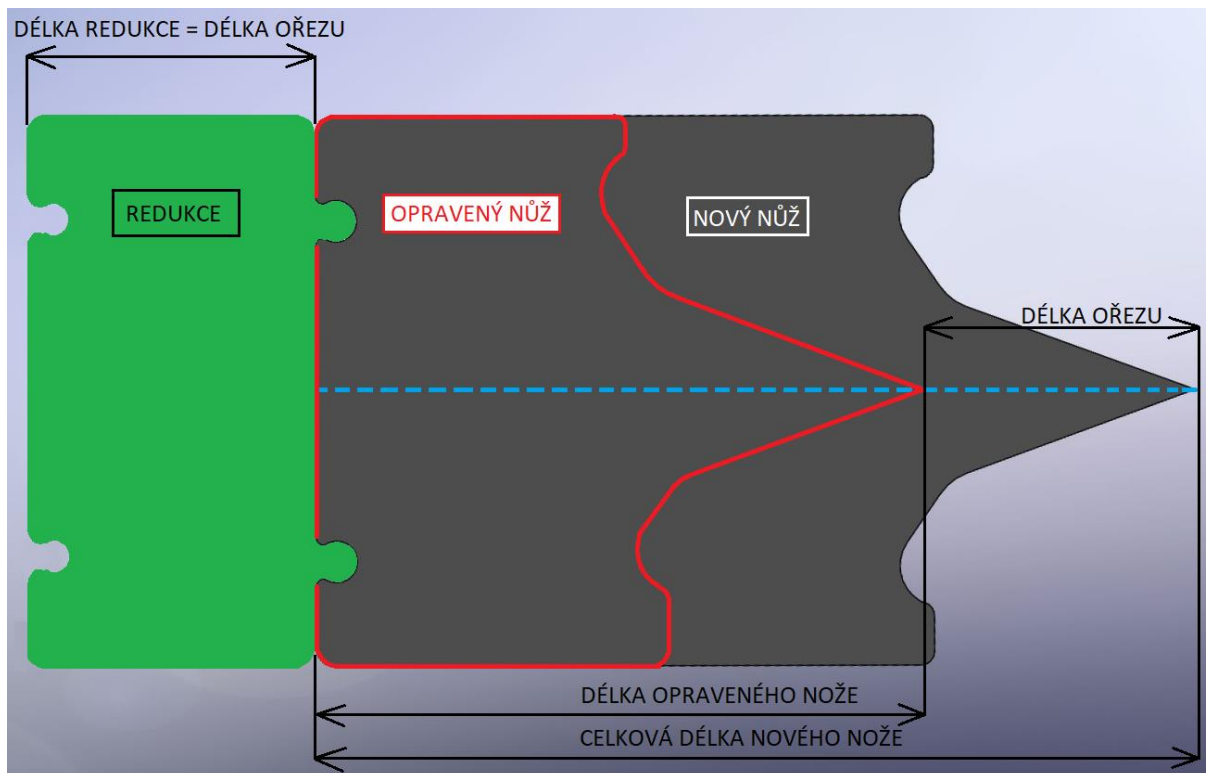
¹ CAD (Computer-Aided Design) – počítačem podporované projektování

² DXF (Drawing Exchange Format) – formát vyvinutý společností Autodesk, jenž umožňuje výměnu dat mezi programy různých společností zabývajících se softwarem pro počítačem podporované projektování

Tab. 7 Technické parametry drátové řezačky Fanuc Robocut α -c400ib [10]

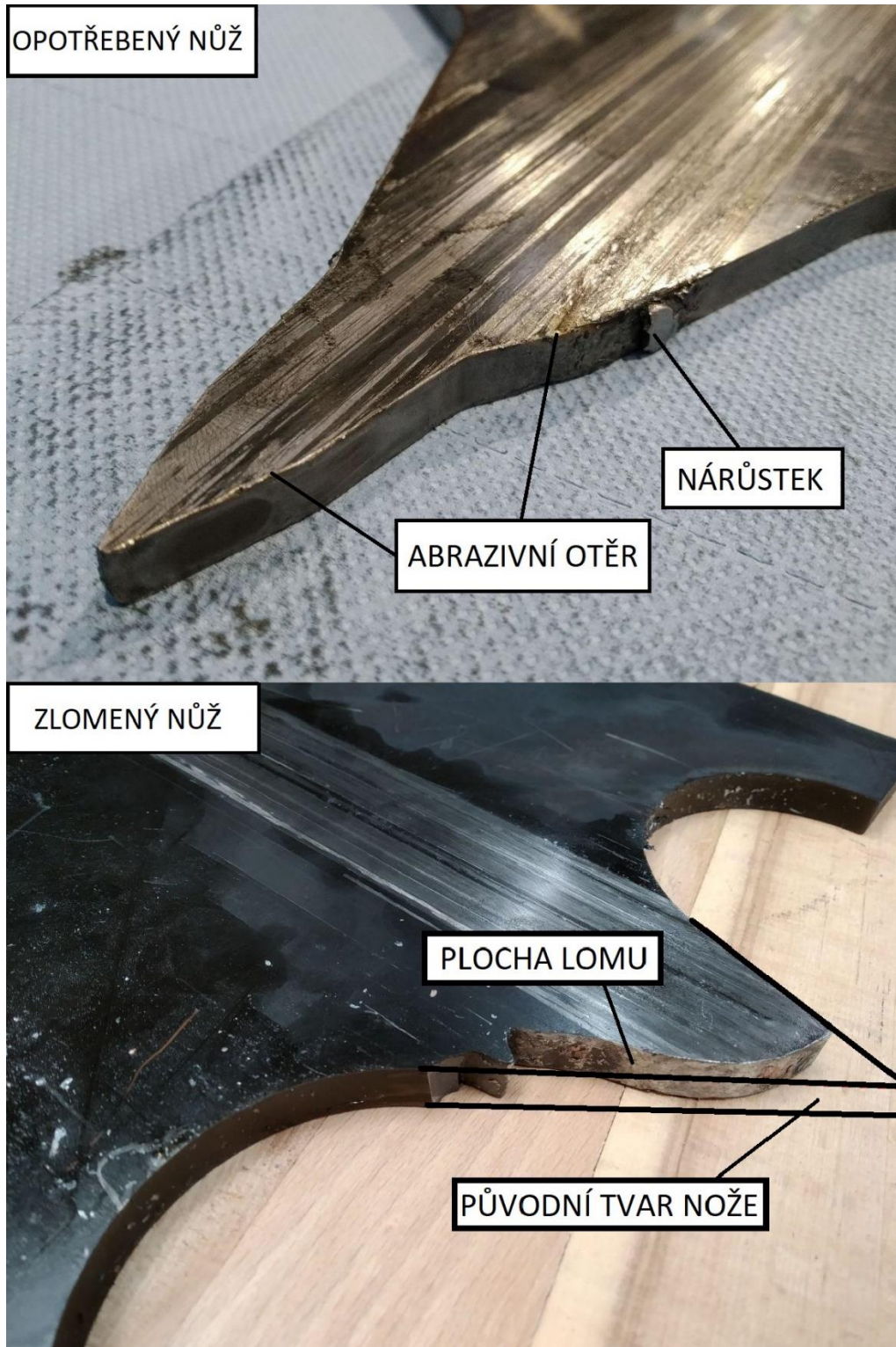
Fanuc Robocut α -c400ib			
Elektrojiskrová drátová řezačka			
Maximální rozměry obrobku [mm]	730×630×250	Maximální hmotnost obrobku [kg]	500
Pojezd v ose X a Y [mm]	400×300	Pojezd v ose Z [mm]	255
Pojezd v ose U a V [mm]	120×120	Max. úhel řezu bez vodítka [° / mm]	± 30° / 80
Max. úhel řezu s vodítkem [° / mm]	± 45° / 40 [10]	Min. krok pohonu [mm]	0,0001
Průměr řezacího drátu [mm]	0,10 – 0,30	Max. hmotnost drátu [kg]	16
Půdorys (Š/H) [mm]	1990×2200	Hmotnost stroje (cca) [kg]	1800
Řídicí systém	FANUC 31 i-WB		

Strojem Fanuc Robocut α -c400ib lze vyrábět až pět kusů nožů najednou, čímž se zkracuje čas, který je nutný k upínání obrobků a k nastavení obráběcích parametrů. Předpřipravené polotovary ve formě desek se přesně ukládají na sebe (5 kusů) a upínají pomocí přípravku. Předpřipravené polotovary již mají obrobenou upínací a vodící část od dodavatele, takže je obráběna pouze střížná část spolu s částí pro odchod odstřížků. Časová náročnost na výrobu pěti kusů nožů je přibližně pět hodin v závislosti na velikosti a tvaru nože.



Obr. 31 Oprava stříhacího nože ořezem a vypořádání pomocí redukce

Oprava nože se stejně jako jeho výroba provádí ořezem na drátové řezačce Fanuc Robocut α -c400ib. Opotřebený nož je možné obvykle vícekrát přestrojit a znovu použít. Počet přestrojení se liší v závislosti na druhu a velikosti opotřebení. Nejvíce dochází k opotřebení střižných hran, bočních ploch nože, anebo k tvorbě nárůstků na čele nože, kudy odcházejí odstřížky (Obr. 32).



Obr. 32 Způsoby opotřebení nožů

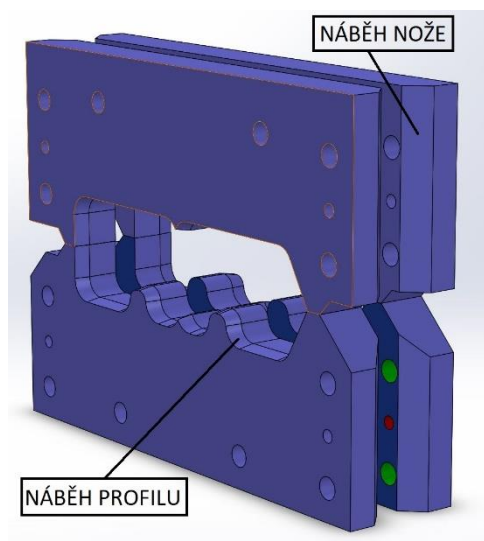
Opotřebení těchto oblastí způsobuje zhoršení kvality stříhu, vznik otřepů na dělených plochách

výztuhy a problematický odchod odstřížků. Z daného důvodu je nutné poškozené oblasti zcela odstranit, avšak velikost opotřebení (délka vrypů v bočních plochách nože) se obvykle u každého nože liší. Velikost ořezu se volí s ohledem na délku vrypu (v boční ploše nože) a s ohledem na dostupné délkové varianty redukcí. Celková délka nože totiž musí být stále stejná, avšak přestřením se délka změní. Z tohoto důvodu se přestřený nůž doplňuje o redukci, která zachová jeho původní délku, což je znázorněno na obrázku (Obr. 31). Dalším možným opotřebením je odlomení střížné části nože, které je vyobrazeno na pravé části obrázku (Obr. 32). Oprava zlomeného nože je prováděna obdobně jako u opotřebeného nože.

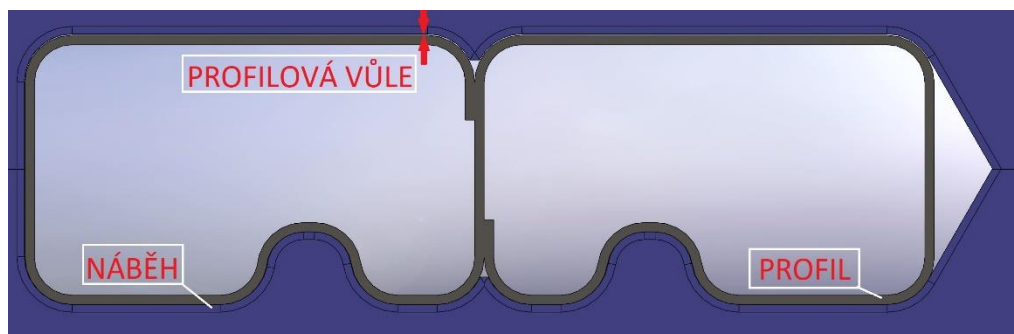
2.3.3.4 Střížnice

Další činnou částí střížného nástroje jsou kromě nože i střížnice, které jsou v páru (vstupní a výstupní). Střížnice se vyrábějí frézováním a následným broušením z polotovaru, jímž je deska z nástrojové oceli AISI D2 (2.2.1). Polotovar střížnic není na rozdíl od polotovaru nože deponován. Obě střížnice jsou dělené a mají pevnou a pohyblivou část. Pohyblivé části střížnic jsou stejně jako nůž poháněny lineárním hydromotorem.

Střížnice přesně kopírují tvar stříženého profilu. K teoretickému profilu se zpravidla přidává profilová vůle 0,1 až 0,2 mm (dle potřeb v problematických místech i více než zmíněné dvě desetiny milimetru), z důvodu, že reálný profil nikdy neodpovídá teoretickému tvaru profilu a musí se ideálně vměstnat mezi pohyblivou a pevnou část střížnice. V případě příliš velké profilové vůle se zhoršuje kvalita stříhu, protože na dělené ploše vzniká otřep.



Obr. 33 Pár střížnic monoleg profilu



Obr. 34 Umístění profilu ve střížnicích v uzavřeném stavu

Na vstupu vstupní střížnice se nachází náběh (sražení), který umožňuje profilu do prostoru střížnice snáze zapadnout. Náběh je znázorněn na obrázku (Obr. 33). Aby nůž snáze pronikal mezi střížnice, používá se rovněž sražení na vnitřní náběhové straně střížnice. Stejně tak je nutné v tvarově komplikovaných oblastech profilu vytvoření zmíněné patřičné vůle, či v daných místech umístit technologický otvor, který vzniká při prostřihování ostatních otvorů v děrovací formě.

Na základě předchozích zkušeností z výroby lze při návrhu tvaru střížnice vycházet z níže vypsanych zásad:

- čím je větší profilová vůle, tím větší je otřep na dělicí ploše výrobku,
- čím je menší profilová vůle, tím hůře zapadá reálný profil do střížnice – lineární hydromotor pohyblivé střížnice proto obtížněji upíná profil (v případě špatného upnutí vzniká nekvalitní stříh a také hrozí poškození nože),
- čím je pevnější materiál profilu, tím je materiál méně poddajný a obtížněji se svírá ve střížnicích.

2.3.3.5 Výroba a údržba střížnic

Návrh, dokumentace a opravy střížnice se vytvářejí stejně jako v případě stříhacího nože v prostorách společnosti Shape, avšak výroba je prováděna externím dodavatelem, jelikož se vyrábějí z nástrojové oceli D2, která klade vysoké nároky na obráběcí stroje a nástroje, jimiž Shape nedisponuje a není jimi specializován. Dodavatel používá k výrobě NC frézovací centrum, kterým se obrábí kontura, otvory, sražení a příprava funkčních ploch. Na finální dokončení funkčních ploch je použita bruska na plocho s elektromagnetickou upínací deskou.

Jak již bylo zmíněno, opravy střížnice se provádí ve společnosti Shape, konkrétně na pracovišti údržby. Opatřené střížnice je možné obvykle vícekrát přestrojit a znovu použít. K přestrojení se používá vodorovná rovinná bruska s elektromagnetickou upínací deskou **Bernardo BSG 4080 AHD**.



Obr. 35 Rovinná bruska Bernardo BSG 4080 AHD

Bruska slouží k obrábění rovinných ploch po velmi malých přísuvech od 0,005 mm do 0,05 mm. Pohyby jsou automatizované jak ve vodorovné, tak svislé ose. Parametry stroje jsou uvedeny v tabulce (Tab. 8).

Tab. 8 Technické parametry vodorovné rovinné brusky Bernardo BSG 4080 AHD

Bernardo BSG 4080 AHD			
Bruska na plochu s elektromagnetickou upínací deskou			
Maximální rozměry obrobku [mm]	815×405×400	Maximální hmotnost obrobku [kg]	500
Rozměry stolu [mm]	815×405	Maximální posuv podélný / příčný [mm]	900 / 450
Vzdálenost středu vřetene od stolu [mm]	580	Rozměr brusného kotouče [mm]	350×40×127
Otáčky vřetene [min ⁻¹]	1450	Motor vřetene [W]	4000
Automatický posuv, příčný [mm. zdvih ⁻¹]	0,10 ÷ 8	Automatický posuv, vertikální [mm]	0,005; 0,01; 0,02; 0,03; 0,05
Rozměry stroje (Š/H/V) [mm]	2650×2200×1900	Hmotnost stroje (cca) [kg]	3400

Počet přeostření se liší v závislosti na druhu a velikosti opotřebení. Nejčastěji se poškozují hrany střížnice, které nevydrží vysoký tlak, jež na ně působí a následně se odlomí. Dále se poškozují funkční plochy, a to buď abrazivním otěrem, který plochu vydírá, anebo vlivem adheze, kdy se naopak na střížnici vytvoří nárůstek, jež při stříhu poškodí nůž. Opotřebení těchto oblastí způsobuje zhoršení kvality stříhu a vznik otřepů na dělených plochách výrobku.

Z tohoto důvodu je nutné poškozené oblasti zcela odstranit. Poškozené oblasti se přebroušují. Hloubka odbroušené vrstvy se volí s ohledem na hloubky vrypů (na funkční ploše a hraně střížnice) a s ohledem na dostupné tloušťky podložek, kterými se střížnice podkládá. Celková tloušťka střížnice totiž musí být stále stejná, aby byla zachována konstantní střížná vůle (Obr. 28), protože broušením se tloušťka změní. Proto se přebroušená střížnice vypořádává, čím je zachována její původní tloušťka a střížná vůle mezi nožem a střížnicí.

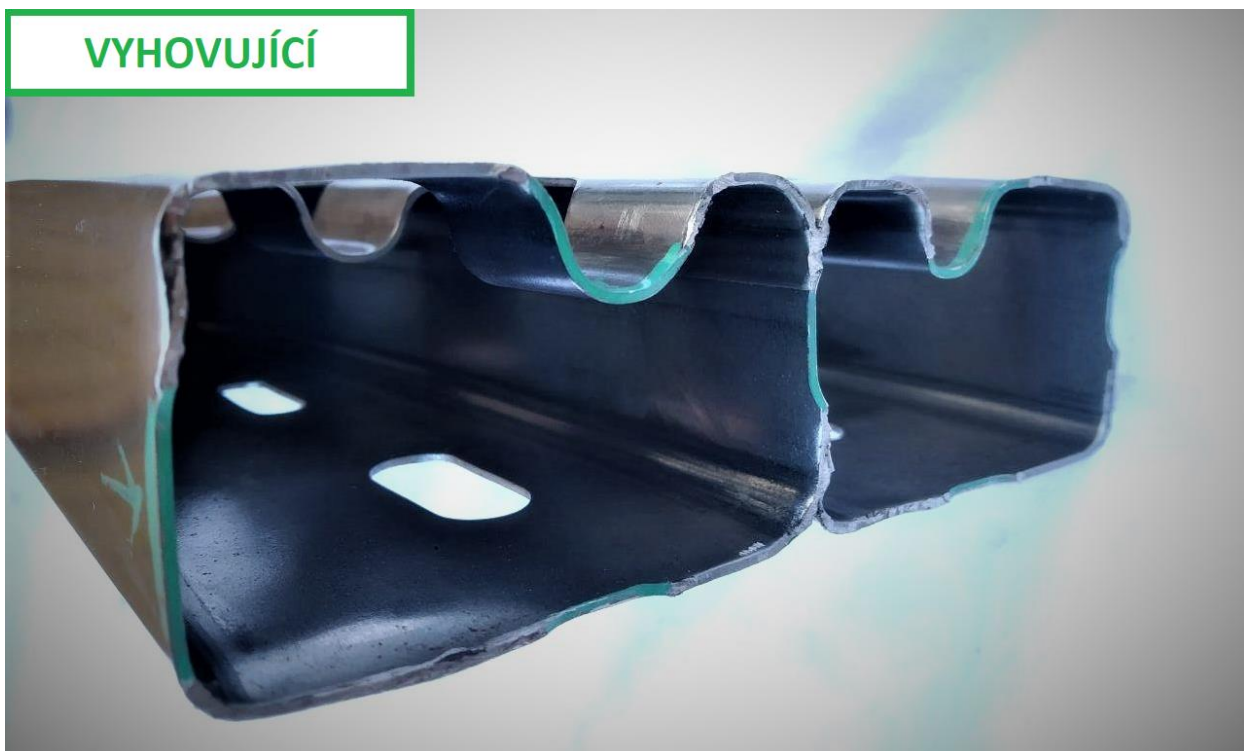
2.3.3.6 Dělená plocha

Kvalita stříhu je spolu s životností střížného nástroje hlavním předmětem práce, a proto je nutné představení vyhovující a nevyhovující dělené plochy.



Vyhovující dělená plocha:

- neobsahuje žádné otřepy, nebo jen zcela minimální,
- tvar profilu je v toleranci a není vlivem stříhu nijak poškozený nebo deformovaný,
- svarový spoj spojující profil je celistvý,
- není nutná sekundární operace broušení hran.

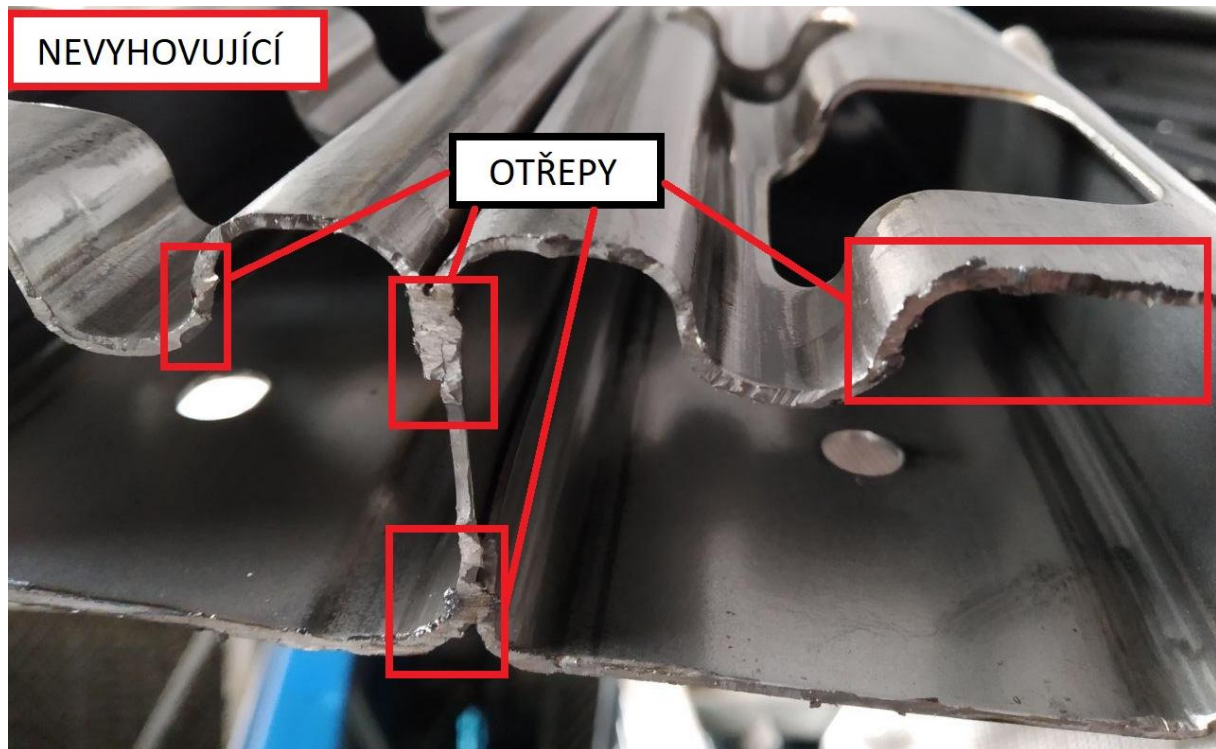


Obr. 36 Vyhovující dělená plocha



Nevyhovující dělená plocha:

- obsahuje otřepy přesahující toleranci,
- tvar profilu je vlivem stříhu poškozený a zdeformovaný,
- svarový spoj je nevyhovující, protože obsahuje trhliny,
- je nutná sekundární operace broušení hran, nebo úplné vyřazení jednotlivých dílů,
- při trvalém tvoření otřepů – výměna nože nebo střižnice.



Obr. 37 Nevyhovující dělená plocha

2.3.3.7 Otřepy mimo toleranci

S narůstajícím opotřebením střižných nástrojů se začínají na dělené ploše součásti tvořit otřepy. Tolerance velikosti otřepů je dána požadavkem zákazníka. Testované projekty mají toleranci na velikost otřepu danou zákazníkem 2 milimetry. Vzhledem ke značné nestabilitě velikosti daného defektu jsou otřepy vyhodnocovány na **každém kusu** (operátorem) **vizuálně** a **hmatem** ve speciálních proti průřezných rukavicích. Interní kritérium pro výměnu nože je stanoveno při otřepích od 1 do 1,5 milimetru. Tuto hodnotu je operátor schopen poznat pouhým hmatem. Přesné měření velikosti otřepů probíhá na měřicím zařízení po stovce vyrobených kusů pracovníkem kontroly.

Tolerance velikosti otřepů je dána požadavkem zákazníka. Testované projekty mají toleranci na velikost otřepu danou zákazníkem 2 milimetry. C

3 Návrh konstrukčního řešení stříhací hlavy ve variantách včetně praktického ověření

3.1 Popis experimentu

Požadavkem spol. Shape je zvýšení životnosti střížného nástroje umístěného ve stříhací hlavě (2.3.3) **Hydcut 151**, jež dělí přední bezpečností výztuhu vozu Nissan Juke platformy P13A a zadní bezpečností výztuhu vozu Nissan Qashqai platformy P33B a v menších seriích Nissan Leaf platformy B12L. Výztuha je vyrobena na profilovací lince Shape (2.3.2) z martenzitické oceli vyvinuté speciálně pro bezpečnostní prvky automobilů (Docol® 1500M), jejíž polotovarem je plechový svitek o síle materiálu 1,4 milimetru. Roční plánovaná produkce těchto typů výztuh je 500 000 kusů a současná trvanlivost střížného nože je přibližně 150 stříhů, což je téměř 3232 výměn nožů. Procesními inženýry společnosti Shape byla doporučena změna tvaru střížného nože, změna střížné vůle, polohy a velikosti technologických otvorů. K realizaci požadavků byly navrženy dvě nové varianty nožů, které byly porovnávány se stávající variantou nože. V experimentu je stávající varianta označena **A**, nové varianty jsou označeny **B** a **C**. Pro test bylo vyrobeno deset nožů od každé varianty, dohromady **30 kusů** nožů.

Aby mohla být provedena změna tvaru, byla nejprve nastudována obecně teorie stříhu, která byla sepsána v teoretické části. Pomocí zásad vyplývajících z teorie stříhu byl vytvořen návrh tvaru nožů v CAD softwaru **Solidworks 2018**, kde proběhla i simulace stříhu. Odměrování v softwaru bylo nápomocné i při výpočtu střížných sil. Vytvořené tvary nožů byly konzultovány s procesními inženýry ze společností Shape Česká republika, Shape USA a Shape China. Posun technologických střížníků byl proveden s určitým kompromisem tak, aby byl univerzální pro všechny tři tvary geometrií. Následně byla provedena výroba nožů drátovou řezačkou **Fanuc Robocut a-c400ib** (2.3.3.3) na pracovišti údržby nástrojů Shape. Testování nožů bylo realizováno přímo v sériové výrobě na rollformovací výrobní lince **Roll005** (2.3.2).

Testované nože byly měněny vždy postupně v pořadí A, B, C, protože struktura materiálů jednotlivých polotovarů (cívek) může vykazovat drobné nuance. Tato skutečnost by mohla drobně ovlivnit výsledek testu, a proto se tímto opatřením riziko snižuje. Pro test byly použity pouze nové nože, protože povlak na přeostřených nožích může vykazovat lehké opotřebení, které by mohly test také ovlivnit.

Testovací cyklus probíhal následovně:

1. vložení nového nože **A** do závěsné stříhací hlavy,
2. vložení nové střížnice do závěsné stříhací hlavy,
3. spuštění výroby a kontrola vyrobených dílů v oblasti dělené plochy,
4. nalezení otřepů mimo toleranci – zápis počtu stříhů nožem **A**,
5. výměna nože **A** za nový nůž **B**,
6. kontrola střížnice a případná výměna v případě opotřebení,
7. opětovné spuštění výroby a kontrola vyrobených dílů v oblasti dělené plochy,
8. nalezení otřepů mimo toleranci – zápis počtu stříhů nožem **B**,
9. výměna nože **B** za nový nůž **C**,

10. kontrola střížnice a případná výměna v případě opotřebení,
11. opětovné spuštění výroby a kontrola vyrobených dílů v oblasti dělené plochy,
12. nalezení otřepů mimo toleranci – zápis počtu stříhů nožem C,
13. výměna nože C za nový nůž A,
14. opakování cyklu do spotřebování 30 kusů nožů (A, B, C).

Data získaná testem:

- a) počet stříhů provedených jednotlivými noži,
- b) způsob opotřebení jednotlivých nožů.

V dalších kapitolách je vysvětleno, jak probíhal návrh střížných nožů, výpočet střížných sil, doba výroby nože, cena, průběh testu, vyhodnocení.

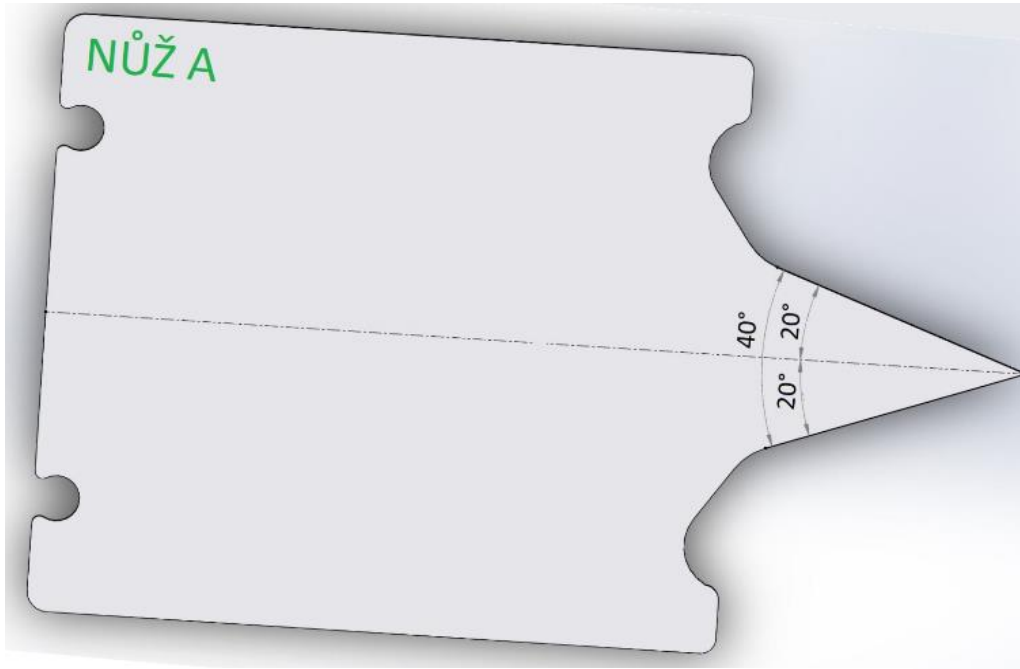
3.2 Návrh tvaru nože

Při tvorbě tvaru střížného nože na profily byla následována doporučení uvedená v odborné literatuře. Tato doporučení jsou popsána v kapitolách (2.1.4.3) a (2.3.3.2). Profil monoleg je však velice složitý tvar, a proto není možné všechna doporučení plně dodržet. Zejména oddělování konstantní tloušťky materiálu je v případě takto složitého tvaru profilu obtížné, ale je snahou se tomuto doporučení přiblížit.

Tvar nože se odvíjí od konkrétního tvaru profilu, a z toho důvodu bylo pro usnadnění návrhu využíváno CAD softwaru, ve kterém je možné každou úpravu tvaru ihned simulovat. Po vytvoření tvaru lze následně spočítat střížnou sílu a polohu výslednice. Poloha výslednice znázorňuje, jestli je nůž symetricky zatížen.

3.2.1 Nůž A

Stávající varianta nože je v experimentu označena **A** a slouží jako etalon, se kterým jsou porovnávány obě navržené varianty nožů B a C z hlediska velikosti střížných sil, životnosti, kvality dělené plochy a v neposlední řadě z ekonomického hlediska.



Obr. 38 Nůž tvaru A

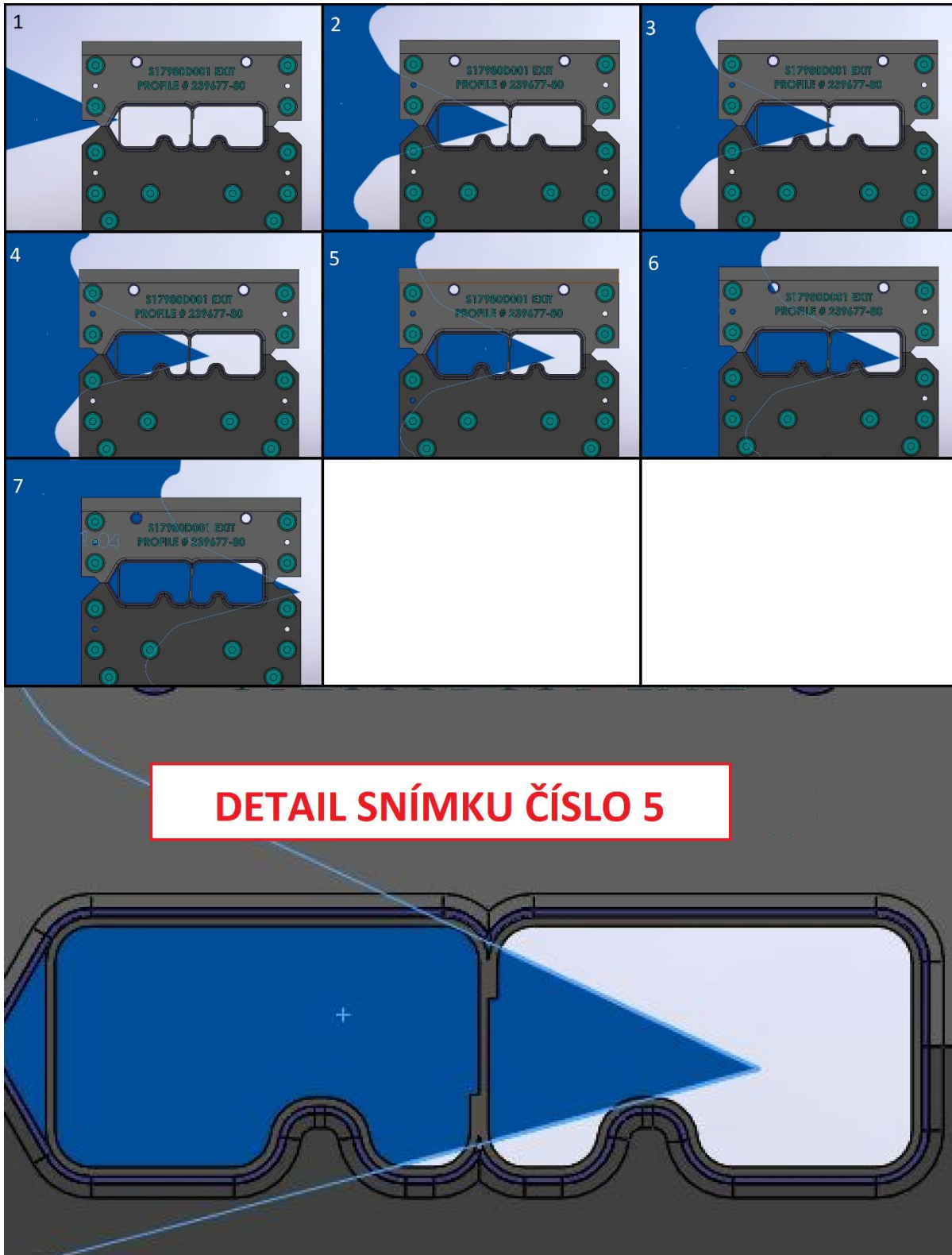
Jeho specifikum je vrcholový úhel 40 stupňů. Vrchní a spodní strana nože jsou symetrické. Úhel mezi ostřím (vrchním i spodním) je v obou směrech 20 stupňů. Natočením nože ve stříhací hlavě o 5 stupňů vstupuje horní ostří do materiálu pod úhlem 25 stupňů od vodorovné osy profilu a spodní ostří pod úhlem 15 stupňů od vodorovné osy profilu. Vrchol špičky nože směřuje přímo do průsečíku os profilu (Příloha A – S1798_00 A).

Jednotlivé snímky simulace stříhu stávající varianty nože jsou vyobrazeny na obrázku (Obr. 39 Průběh stříhu nože A). Na prvním snímku je vidět vstup nože do oblasti profilu. Aby nedošlo k poškození špičky nože, je v tomto místě vhodné vytvoření technologického otvoru. Na druhém snímku je znázorněn souměrný stříh oběma břity a prostup špičky nože skrz další stěnu profilu, ve které je ze stejného důvodu vytvořen technologický otvor. Snímek tři zachycuje situaci, ve které by na nůž působilo výrazně nesouměrné zatížení, protože by spodním ostřím byly oddělovány dvě oblasti oproti jedné oblasti oddělované vrchním ostřím. Z tohoto důvodu je vhodné do spodní obloukové oblasti umístit technologický otvor, který napomáhá vyrovnání zatížení.

Další snímek zobrazuje souměrný průchod obou ostří oblastí svarů. Stříh v oblasti svarů je pro nůž rizikový. Jednak je nástroj opotřebováván tvrdým svarem, a jednak je opotřebováván okraji profilů, které jsou velice ostré a postupně narušují ostří. Z těchto důvodů je vhodné nastřížení vrchního konce profilu technologickým střížníkem. Na snímku 5 je vyobrazena situace, kdy je

předpoklad nejvyšší střižné síly, protože jsou oddělována místa s největší tloušťkou materiálu. Detail snímku 5 je ve spodní části obrázku. Na dalším snímku špička nože opouští profil.

V této oblasti je opět nutná tvorba technologického otvoru. Na posledním snímku je vidět, že spodní břit zcela opouští profil, kdežto vrchní profil stále odděluje materiál. V tomto úseku je

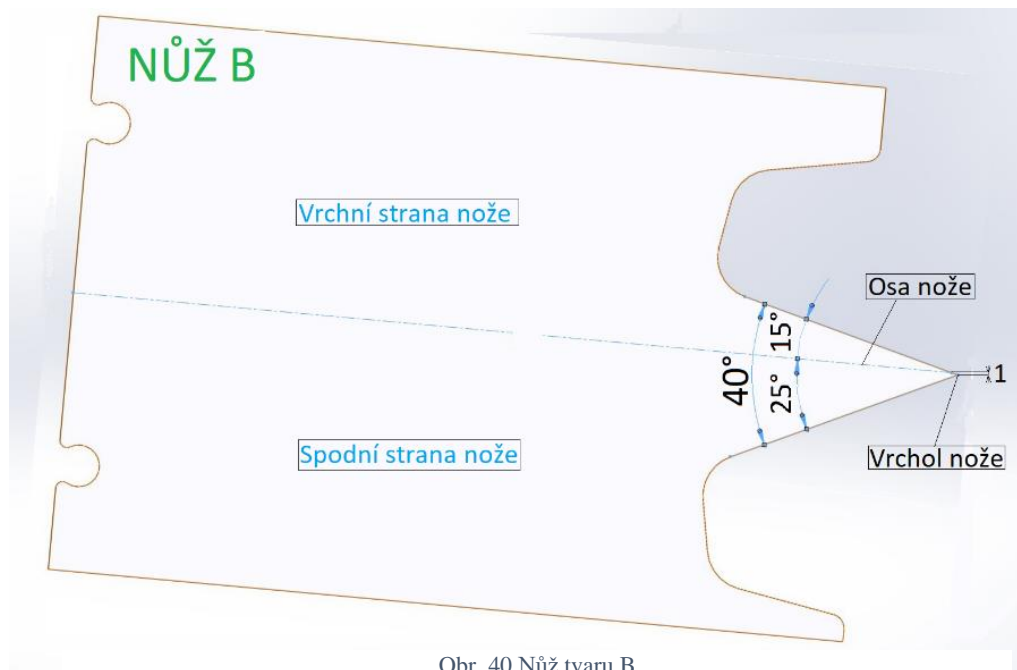


Obr. 39 Průběh stříhu nože A

zatíženo pouze vrchní ostří. Tloušťka materiálu je však v této oblasti velmi malá, a proto ani síla působící na nůž není značná.

3.2.2 Nůž B

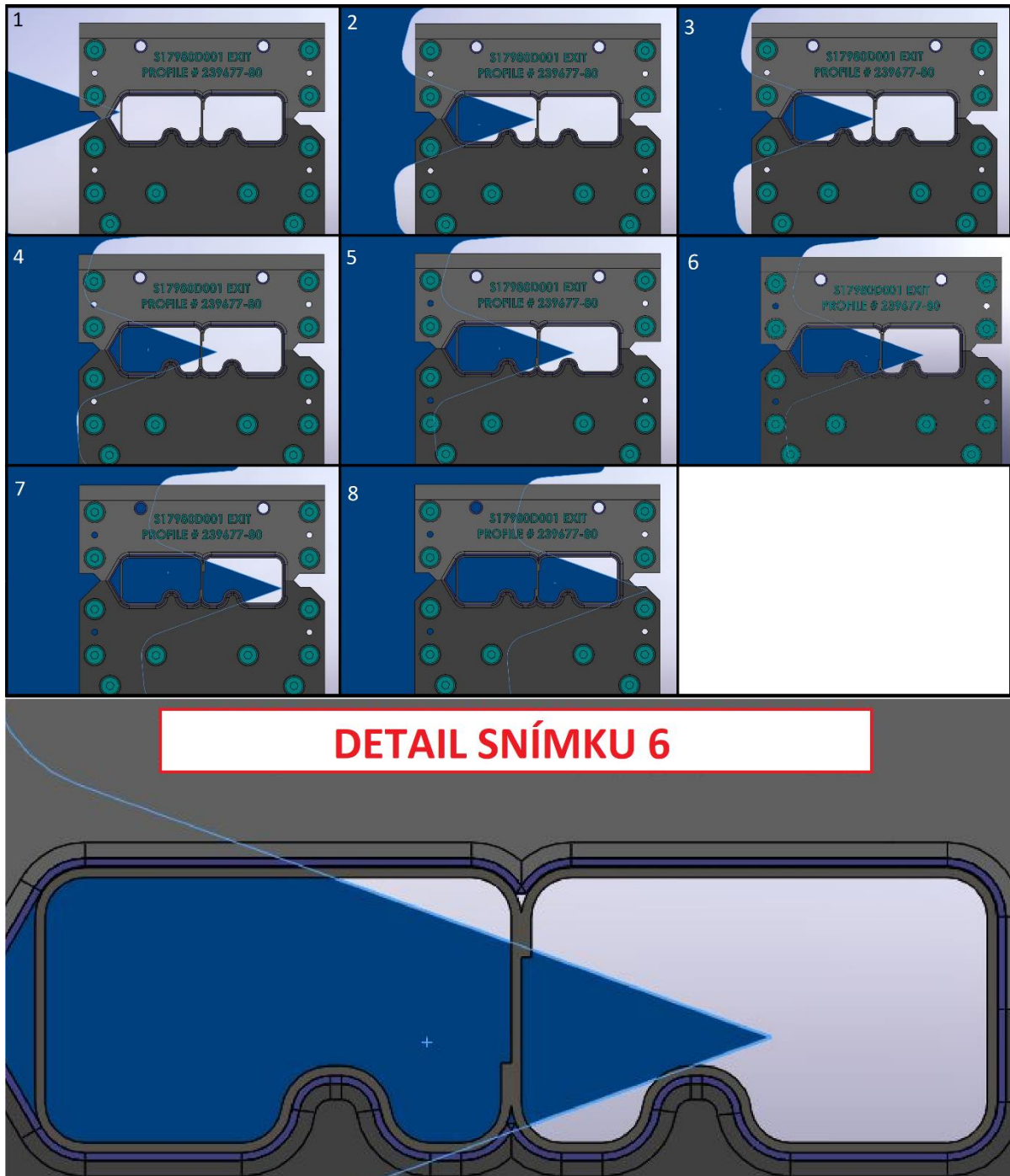
Varianta **B** je prvním nově vytvořeným návrhem. Jeho vrcholový úhel je stejně jako u předchozího nože 40 stupňů, avšak vrchní a spodní strana nože není symetrická. Úhel horního ostří je vůči ose nože 15 stupňů a úhel spodního ostří vůči ose nože je 25 stupňů. Natočením nože ve stříhací hlavě o 5 stupňů vstupuje horní i spodní ostří do materiálu pod úhlem 20 stupňů.



Na rozdíl od nože A, není vrchol nože v jeho ose, ale je posunutý směrem ke spodnímu ostří o 1 milimetr. Posunutí vrcholu a aplikace nesymetrických ostří byla provedena za účelem snížení střížné síly. Na první pohled je vidět přepracování oblasti pro odchod odstřížků. Varianta B má tuto oblast hlubší. Úhel mezi osou nože a tečnou po které odstřížek opouští prostor stříhu je deset stupňů. U varianty A je tento úhel 34 stupňů (Příloha **B** – S1798_00 B).

Průběh stříhu nože B je velice podobný průběhu stříhu A, avšak jsou zde určité odlišnosti, které jsou blíže popsány v následujícím textu. První odlišnost je hned na prvním snímku (*Obr. 41*). Jak už bylo zmíněno, horní i spodní ostří nože vstupuje do profilu pod úhlem 20 stupňů od osy profilu (u nože A vrchní pod úhlem 25 stupňů a spodní pod úhlem 15 stupňů). Další změna oproti noži A je na snímku 2. Nůž přichází do kontaktu nejprve se spodní obloukovou oblastí, a až poté prostupuje stěnou profilu (u nože A je to naopak). Prostup oblastmi svarů je u této varianty nože nesymetrický než u varianty A, čehož je možné si všimnout nejprve na snímku 4 (nůž vniká do oblasti spodního svaru) a 5 (nůž vniká do oblasti vrchního svaru). Tímto opatřením by se mohla zvýšit životnost střížného nože, protože nástroj bude zatěžován postupně. Poloha nože, kdy je potřebná největší střížná síla je zobrazena na snímku 6. Detail snímku 6 je zobrazen v dolní části obrázku. Z toho je patrné, že v daný okamžik je oddělována menší tloušťka materiálu než v případě nože A, což potvrzuje i výpočet (*Tab. 10*). Snímek 7 a

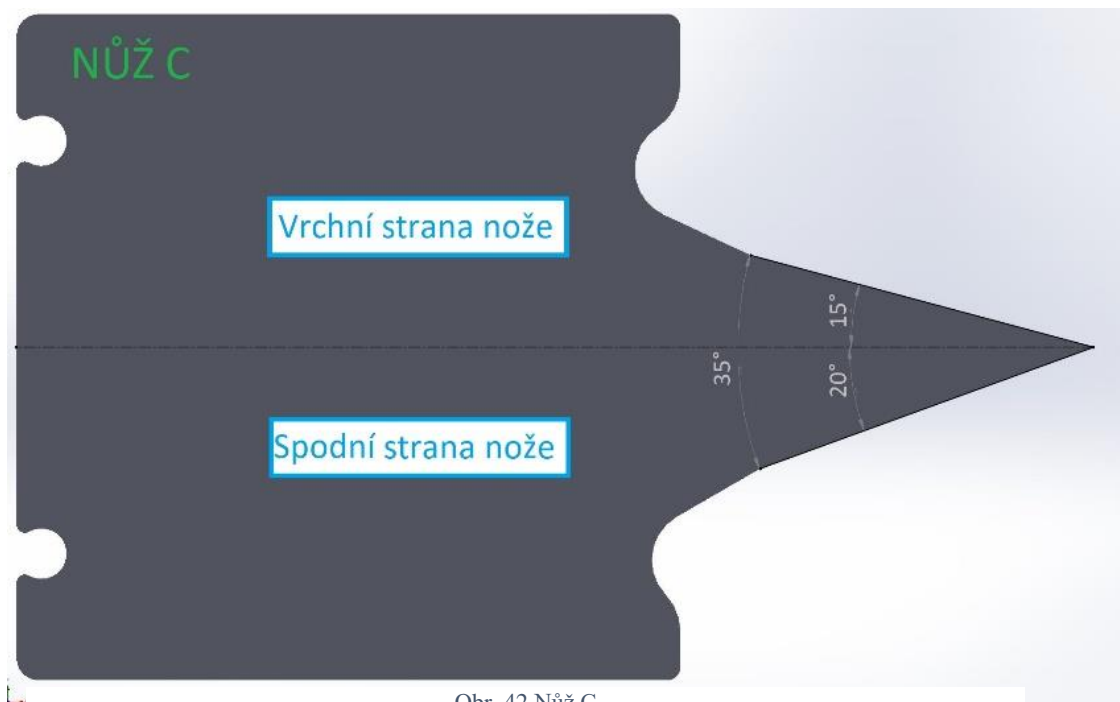
8 znázorňuje výstup nože z profilu, kde je průběh o trochu méně příznivý než v případě nože A, protože úsek stříhu pouze horního ostří je delší.



Obr. 41 Průběh stříhu nože B

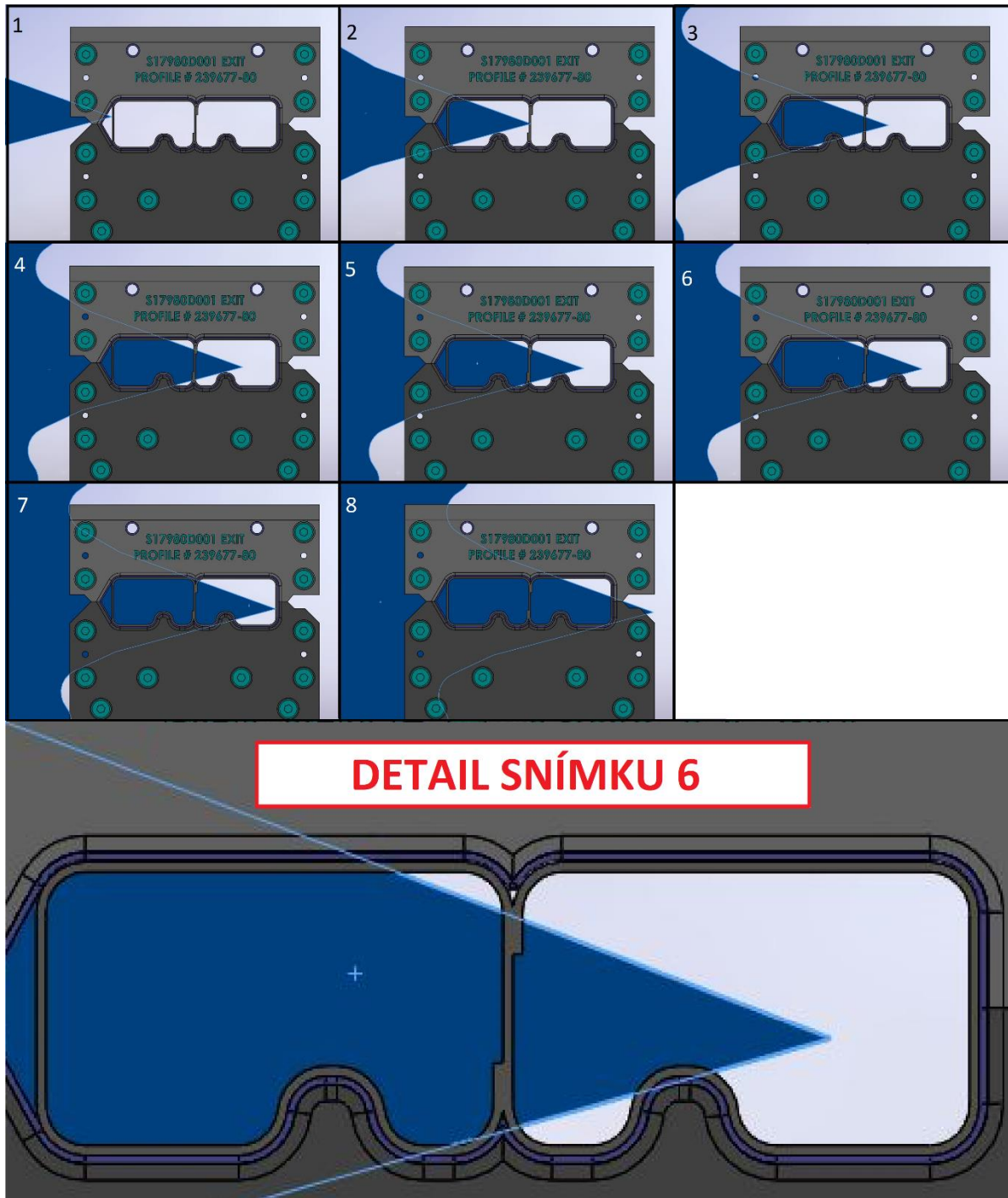
3.2.3 Nůž C

Varianta C je dalším nově vytvořeným návrhem. Tento nůž se liší ostřejším vrcholovým úhlem oproti variantě A a B. Vrcholový úhel svírá 35 stupňů a stejně jako v případě nože B není úhel vrchní a spodní strany symetrický. Úhel horního ostří je vůči ose nože 15 stupňů a úhel spodního ostří vůči ose nože je 20 stupňů. Natočením osy nože o 5 stupňů proniká horní ostří nože do profilu pod úhlem 20 stupňů a spodní ostří pod úhlem 15 stupňů. Z čísel vyplývá, že je tento tvar nejostřejší a je tudíž předpokladem, že by měla být jeho maximální střižná síla nejnižší, avšak je zde riziko větší náchylnosti ke zlomení nože a většímu prořezu materiálu při výrobě nože. Oproti oběma předchozím nůžům (A a B) má tato varianta mnohem delší střižnou část a úhel mezi osou nože a tečnou, po které odstřížek opouští stříh, je 42 stupňů.



Obr. 42 Nůž C

Průběh stříhu nože C je vyobrazen na obrázku (Obr. 43). Na snímku 1 vstupuje nůž do oblasti profilu pod úhlem 20, což má společné s nožem B. Snímek 2 zachycuje prostup špičky nože střední stěnou profilu a zároveň kontakt spodního ostří s obloukovou oblastí, čímž se naopak podobá spíše noži tvaru A. Na snímku 3 a 4 je vidět, že je nejprve oddělován spodní svar profilu a až v průběhu jeho dělení se přidává oddělování horního svaru. Tímto opatřením by se (stejně jako u nože tvaru B) mělo snížit zatížení nože. Na snímku 5 přichází spodní břit do kontaktu s obloukovou oblastí. Okamžik, kdy je potřeba k oddělování maximální střižná síla, je zachycen na snímku 6. Zvětšený detail snímku 6 je ve spodní části obrázku. Snímek 7 a 8 zachycuje výstup nože z profilu, kde je průběh o trochu příznivější než v případě nože B, protože úsek stříhu pouze horního ostří je kratší.



Obr. 43 Průběh stříhu nože C

3.3 Výpočet střížné síly a poloha výslednice

Výpočet potřebné střížné síly pro dělení válcovaných profilů se provádí v místě, kde je v průběhu celého stříhu odebrána největší tloušťka materiálu. Tloušťkou materiálu není myšlena síla plechového polotovaru (1,4 milimetru), nýbrž součet tlouštěk dělených ploch v konkrétním průběhu stříhu, které se od síly plechového polotovaru diametrálně liší. Tloušťka dělené plochy je ovlivněna **tvarem střížného nože** (úhel špičky), **natočením střížného nože** vůči ose děleného profilu, **sílu materiálu** a v neposlední řadě **tvarem profilu**.

Celková velikost výslednice (celková střižná síla) je součtem sil působících na dělený materiál v jednotlivých působištích (pozn. skládání rovnoběžných sil). Na výpočet sil v jednotlivých působištích je aplikován „výpočet střižných sil šikmých nožů“, jež je popsán v kapitolách (2.1.3.2) a (2.1.4.2).

Ve výpočtu střižné síly se neuvažuje použití technologických otvorů, protože v praxi nastává situace (např. ve fázi testování výrobní linky, nebo při výrobě prototypových dílů), kdy je oddělován materiál mimo technologické otvory, a i přes tuto skutečnost musí být díl oddělen. Výpočet střižné síly s technologickými otvory je možné provést až zpětně po jejich umístění za účelem zjištění velikosti úspory potřebné síly.

Zjištění polohy výslednice střižné síly napomáhá k umístění technologických otvorů, které umožňují vyrovnat zatížení mezi jednotlivé ostří nože a pomáhají snížit namáhání nože.

$$F_s = (1,1 \div 1,3) \times t \times b \times \tau_s$$
$$= (1,1 \div 1,3) \times \frac{t^2}{\operatorname{tg} \varphi} \times \tau_s \quad [\text{N}]$$

(1,1 ÷ 1,3) – součinitel otupení břitu [-]

t – tloušťka dělené vrstvy (tloušťka materiálu) [mm]

b – délka stříhu ($b = \frac{t}{\operatorname{tg} \varphi}$) [mm]

φ – úhel sklonu nožů

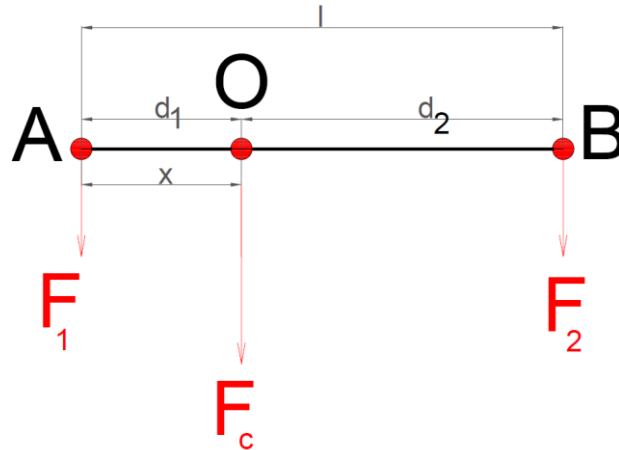
τ_s – napětí ve smyku, střižná pevnost kde $\tau_s = 0,8 \times R_m$ [MPa]

S – plocha průřezu ve střižné rovině ($S = O \times t$) [mm²]

Z kapitoly (2.1.3.2) je převzat vzorec (2.4) pro výpočet střižné síly.

Poloha výslednice se zjišťuje pomocí momentů sil. Moment výslednice je vždy vzhledem k její ose nulový, a proto je nutné se řídit momentovou podmínkou:

$$\sum M_O = 0 \rightarrow F_1 \times d_1 - F_2 \times d_2 = 0$$



Obr. 44 Poloha výslednice

Výpočet polohy výslednice x vycházející z obrázku (Obr. 44) je:

$$x = \frac{F_2 \times l}{F_1 + F_2}$$

Poloha výslednice byla zjištěna výpočtem a pomocí CAD softwaru, jehož pomocí byly odměřovány vzdálenosti jednotlivých silových působišť. Výpočet probíhal následovně:

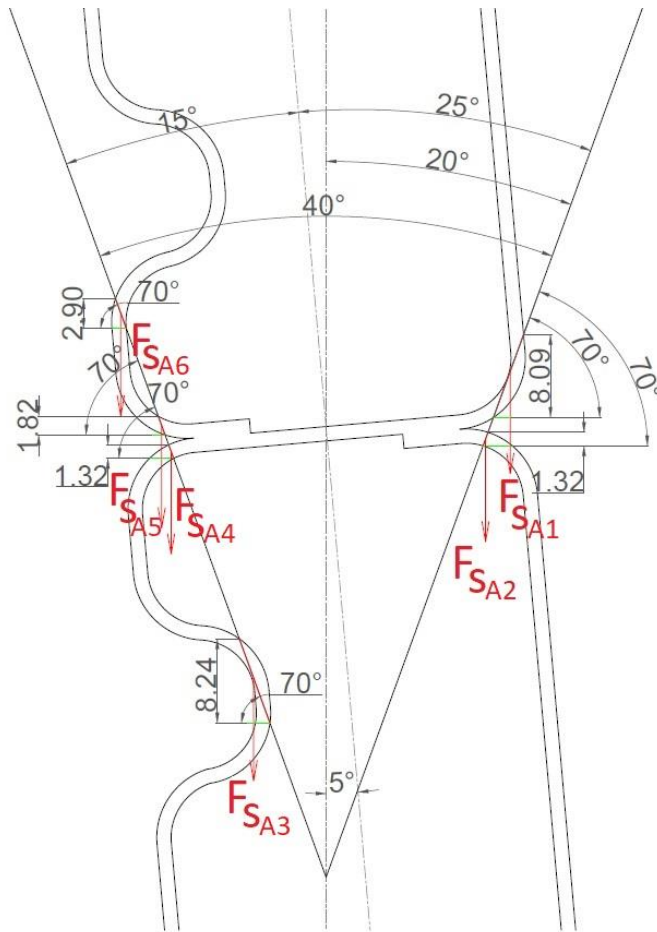
- Odměření vzdálenosti dvojice nositelek sil (l),
- výpočet polohy jejich výslednice (x) a zanesení její polohy do CAD softwaru,
- odměření vzdálenosti nositelek sil dalších dvou sil (l),
- výpočet polohy jejich výslednice (x) a zanesení její polohy do CAD softwaru,
- tímto způsobem se postupovalo až do okamžiku, kdy zůstala pouze jediná nositelka. Tato nositelka je výslednicí celkové sřížné síly.

3.3.1 Výpočet střížné síly nůž A

Vzorové dosazení konkrétních čísel do předchozí rovnice z prvního řádku tabulky (Tab. 9):

$$F_{SA1} = 1,2 \times \frac{8,09^2}{\operatorname{tg} 70} \times 0,8 \times R_m = 40048,25 \quad [\text{N}]$$

Na obrázku (Obr. 45) jsou vyobrazené střížné síly působící v jednotlivých místech, kde dochází k působení nože na dělený profil a vyobrazeny jsou také tloušťky materiálu a úhly sklonu nože v těchto oblastech. Tyto hodnoty jsou dosazeny do vzorce pro výpočet střížné síly.



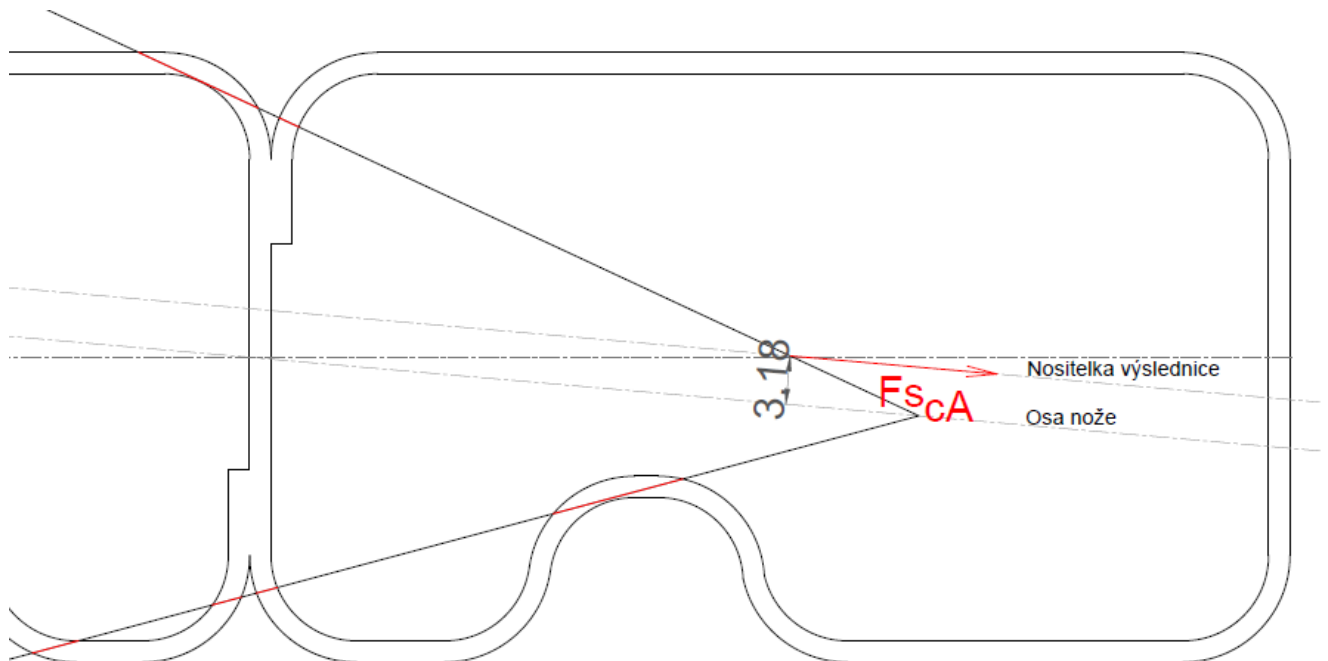
Obr. 45 Pohled na stříh a hodnoty z CAD softwaru pro výpočet střížné síly nože A

V tabulce (Tab. 9) jsou vyplněny všechny hodnoty, které jsou potřebné k výpočtu jednotlivých střížných sil a k výpočtu celkové střížné síly na jedné straně nože. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v pravé části tabulky.

Tab. 9 Výpočet střížné síly pro dělení monoleg profilu nožem A

N	Součinitel otupení břitu [-]	t [mm]	φ [°]	R_m [MPa]	F_{s_A} [N]
1	1,2	8,09	70	1750	40048,25
2	1,2	1,32	70	1750	1060,27
3	1,2	8,24	70	1750	41498,20
4	1,2	1,32	70	1750	1071,24
5	1,2	1,82	70	1750	2033,45
6	1,2	2,90	70	1750	5132,53
Střížná síla na jedné straně nože A ($F_{s_{CA}}$)					90843,94

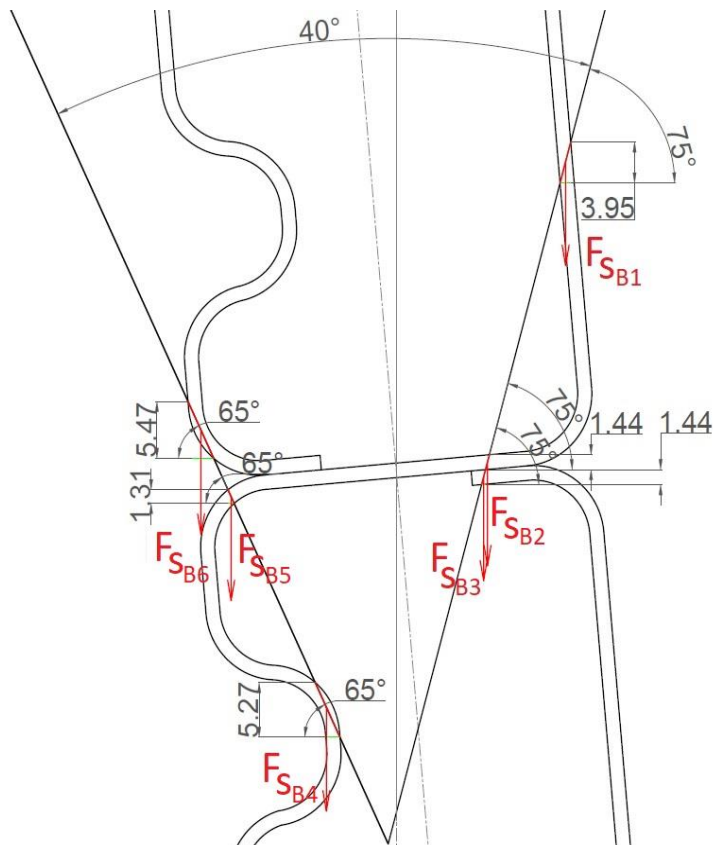
Poloha výslednice střížných sil nože A je ve vzdálenosti 3,18 mm od osy nože, viz obrázek (Obr. 46). Tato poloha výslednice je pro stříh velice příznivá, protože jejím vlivem se nůž ve vedení přičí zcela minimálně.



Obr. 46 Poloha výslednice sil nože A

3.3.2 Výpočet střížné síly nůž B

Na obrázku (Obr. 47) jsou vyznačena působíště střížných sil, okótovány tloušťky materiálu a střížné úhly, které jsou nutné pro výpočet střížné síly nože B. Tyto hodnoty jsou doplněny i do tabulky (Tab. 10).



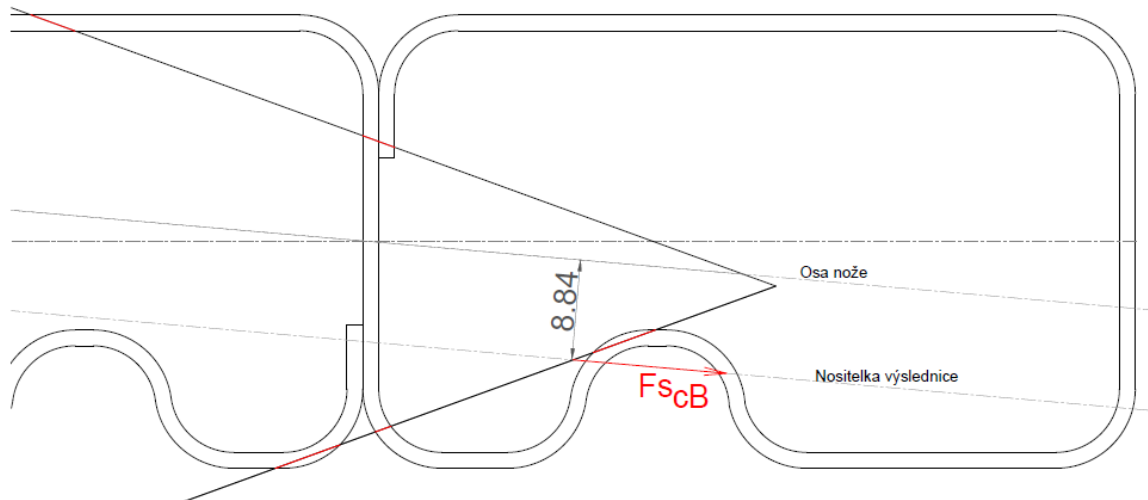
Obr. 47 Pohled na stříh a hodnoty z CAD softwaru pro výpočet střížné síly nože B

V tabulce (Tab. 10) jsou uvedeny hodnoty pro výpočet střížných sil a jejich výsledky.

Tab. 10 Výpočet střížné síly pro dělení monoleg profilu nožem B

N	k [-]	t [mm]	φ [°]	R_m [MPa]	F_{SB} [N]
1	1,2	3,95	75	1750	7037,10
2	1,2	1,44	75	1750	932,27
3	1,2	1,44	75	1750	932,27
4	1,2	5,27	65	1750	1343,16
5	1,2	1,31	65	1750	21796,03
6	1,2	5,47	65	1750	23478,52
Střížná síla na jedné straně nože B (F_{SCB})					55519,47

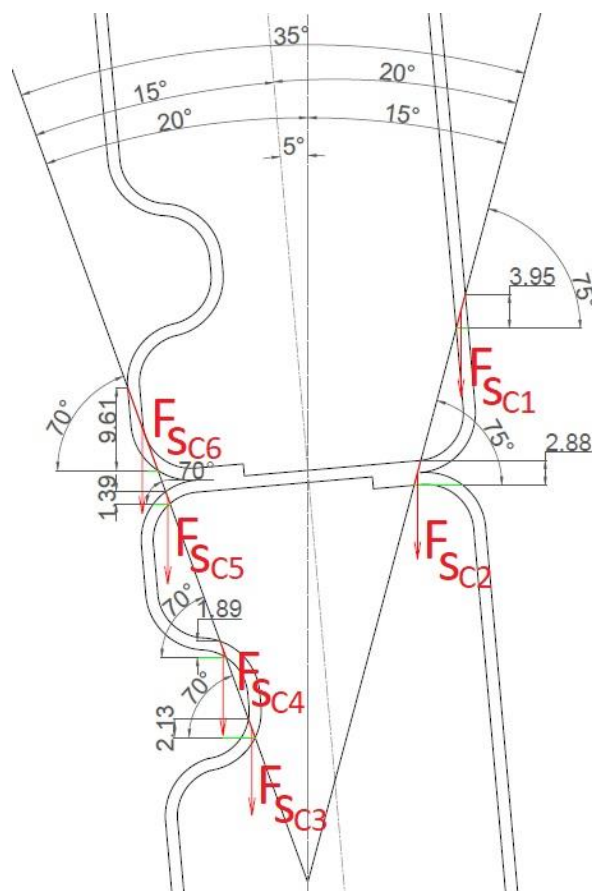
Poloha výslednice střížných sil nože B je ve vzdálenosti 8,84 mm od osy nože viz obrázek (Obr. 48). Tato poloha výslednice je pro stříh méně příznivá, než je tomu u nože A (hrozí vzpříčení a zadření nože). Proto je nutné ve vhodných oblastech vytvořit **technologický otvor** (je-li to možné), jehož aplikací se působení na nůž vyrovnává.



Obr. 48 Poloha výslednice sil nože B

3.3.3 Výpočet střížné síly nůž C

Na obrázku (Obr. 49) jsou okótovány hodnoty pro výpočet střížné síly nože C, které jsou doplněny do přiložené tabulky.



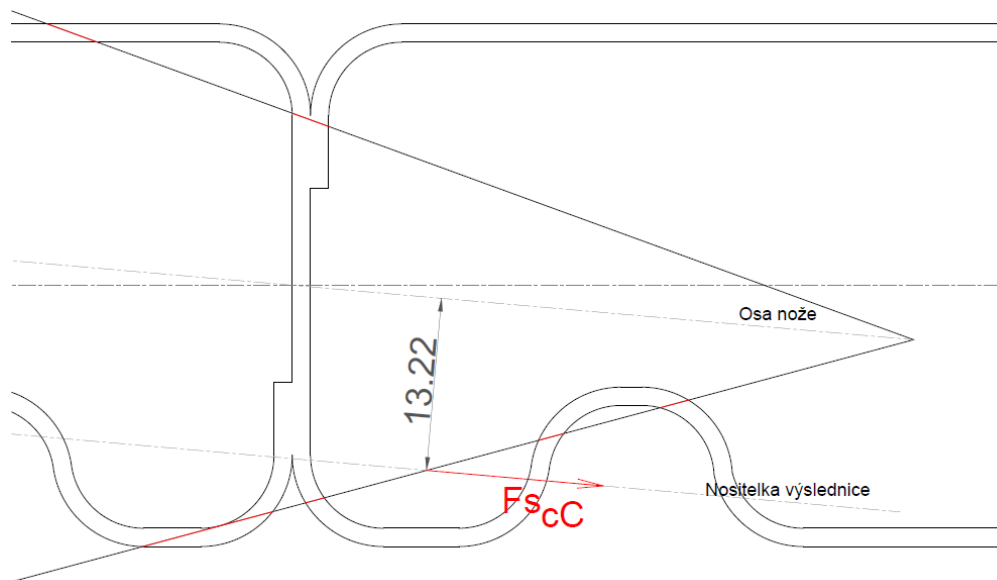
Obr. 49 Pohled na stříh a hodnoty z CAD softwaru pro výpočet střížné síly nože C

V tabulce (Tab. 11) jsou uvedeny hodnoty pro výpočet střížných sil a jejich výsledky.

Tab. 11 Výpočet střížné síly pro dělení monoleg profilu nožem C

N	k [-]	t [mm]	φ [°]	R_m [MPa]	F_{sC} [N]
1	1,2	3,95	75	1750	7037,10
2	1,2	2,88	75	1750	3736,13
3	1,2	2,13	70	1750	2762,21
4	1,2	1,89	70	1750	2173,61
5	1,2	1,39	70	1750	1176,83
6	1,2	9,61	70	1750	56463,51
Střížná síla na jedné straně nože C (F_{sCC})					73349,59

Výslednice nože C je posunuta od osy ještě o několik milimetrů výše než u nože B. Konkrétně je vzdálena 13,22 milimetru od osy nože (Obr. 50), a proto je žádoucí vytvořit ve vhodných oblastech technologický otvor.



Obr. 50 Poloha výslednice sil nože C

3.3.4 Porovnání střížných sil

Výše vypočtené hodnoty střížných sil jsou pouze síly na jedné straně nože. Jak již bylo zmíněno, nůž má dvě střížné hrany, a proto pro získání **celkových střížných sil** musí být tyto hodnoty sil vynásobeny dvěma.

Tab. 12 Porovnání střížných sil dle tvaru nože

	Nůž A	Nůž B	Nůž C
Střížná síla na jedné straně nože [N]	90843,94	55519,47	73349,59
Celková střížná síla [N]	181687,88	111038,94	146699,18
ΔF_C (porovnání sil s nožem A) [N]	-	-70648,94	-34988,7
$\Delta F_{C\%}$ (rozdíl oproti noži A v %)	-	-38,9 %	-19,3 %

Z výsledků je patrné, že při použití nože B je střížná síla potřebná k oddělení **nižší o 38,9 %** oproti noži A. Užitím nože C je střížná síla **nižší o 19,3 %** oproti noži A.

3.3.5 Ověření tlaku hydraulického zařízení

Z výše vypočtených celkových střížných sil je možné vypočítat minimální tlak, jež musí vyvodit hydraulické zařízení (při dělení daného profilu daným nožem), které pomocí lineárního hydromotoru převádí tlakovou energii kapaliny na mechanickou práci přímočarého pohybu. Pomocí hydromotoru jsou poháněny střížné nože, a proto musí být tlak vyvozený hydraulickým pístem vyšší, než je odpor materiálu proti vniknutí nože. Maximální tlak, který dokáže vyvinout hydraulické zařízení na výrobní lince Roll005 je 15,0 MPa. Průměr pístu lineárního hydromotoru je 125 milimetrů. Tlak, který musí vyvodit hydraulické zařízení pro oddělení daného profilu daným nožem musí být nižší, než je maximálně vyvoditelný tlak hydraulického zařízení. Vzorec pro výpočet tlaku je:

$$p = \frac{F_c}{S} = \frac{F_c}{\frac{\pi \times d^2}{4}} \leq p_{hz}$$

Kde: p – minimální tlak potřebný k oddělení daného profilu [MPa]

F_c – celková střižná síla [N]

S – plocha pístu [mm^2]

d – průměr pístu [mm]

p_{hz} – maximálně vyvoditelný tlak hydraulickým zařízením [MPa]

Dosazení hodnot pro nůž A:

$$p_A = \frac{F_{cA}}{\frac{\pi \times d^2}{4}} = \frac{181687,88}{\frac{\pi \times 125^2}{4}} \leq 15,0$$

$$p_A = 14,8[MPa] \leq 15,0[MPa]$$

V tabulce (Tab. 13) jsou uvedeny výsledky minimálních tlaků pro dělení profilu jednotlivými noži.

Tab. 13 Velikost potřebných tlaků hydraulického zařízení

	Nůž A	Nůž B	Nůž C
Celková střižná síla [N]	181687,88	111038,94	146699,18
p (minimální potřebný tlak) [Mpa]	14,8	9,05	11,95
p_{hz} (maximálně vyvoditelný tlak) [Mpa]	15,0	15,0	15,0
Výsledek	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje

Rozdíl v potřebných tlacích je výrazný. Například pro oddělení profilu nožem tvaru B je zapotřebí o 5,75 [MPa] nižší tlak v hydraulickém zařízení.

3.4 Výpočet střížné vůle

Teorie ohledně střížné vůle (mezery) je uvedena v kapitole (2.1.2), odkud je zde použit i následující vzorec pro výpočet.

Výpočet střížné mezery (z) pro plech do tloušťky 3[mm]:

$$z = \frac{v}{2} = 0,32 \times c \times t \times \sqrt{k_s} \quad [mm]$$

$$z = \frac{v}{2} = 0,32 \times 0,0075 \times 1,4 \times \sqrt{1750} \quad [mm]$$

$$z = \frac{v}{2} = 0,1406 \quad [mm]$$

kde v – střížná vůle [mm]

z – střížná mezera [mm]

t – tloušťka stříhaného materiálu [mm]

k_s – střížný odpor [MPa]

c = (0,005 až 0,025) – součinitel závislý na stupni stříhu

Dle výpočtu byla nastavena střížná mezera mezi nožem a střížnicemi **0,14 milimetru**. Do výpočtu byla zvolena nižší hodnota koeficientu c, protože čím je tato hodnota nižší, tím je lepší kvalita stříhu.

3.5 Poloha technologických otvorů

Technologické otvory pomáhají při dělení materiálu. Vhodným umístěním lze:

- snížit střížnou práci (celková energie k oddělení profilů),
- snížit opotřebení nože (méně oddělované plochy),
- vyrovnat zatížení břitů a tím zamezit přičení nože (umístění výslednice sil do osy nože).

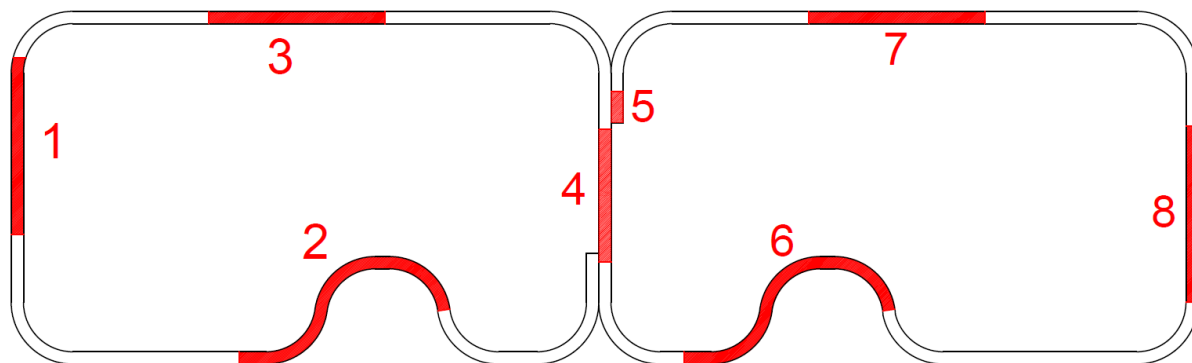
Nevhodným umístěním nebo nadměrným množstvím otvorů může nastat:

- prasknutí profilu v ohýbacím zařízení,
- jednostranné zatížení břitu (přičení nože),
- deformace profilu v místě dělení,
- tvorba ostrých hran v dělené ploše.

Jejich poloha se určuje v závislosti na **tvaru profilu, tvaru nože, velikosti střížných sil** a na **poloze výslednice** střížné síly. V této práci je tvar profilu vždy stejný, liší se však tvar nože, velikost střížných sil a poloha výslednice jednotlivých nožů. Při testování není možné měnit polohu otvorů pro každý nůž zvlášť, a proto muselo být vytvořeno kompromisní řešení, které v rámci možností splní dané požadavky.

Umístění technologických střížníků je znázorněno na obrázku (Obr. 51). Otvory jsou vyznačeny červenou barvou a popsány číslovkami od jedné do osmi. V tabulce (Tab. 14) je

jednotlivým číslům otvorů přiřazena velikost. Znalostí polohy a velikosti otvorů bylo možné provést rozmístění technologických střížníků a matic v prostřihovací formě.



Obr. 51 Poloha technologických otvorů

Technologickým **otvorem 1** vstupuje špička nože do oblasti profilu. **Otvorem 2** se vyrovnává poloha výslednice střížných sil co nejvíce do osy nože (vyrovnání zatížení), protože při oddělování oblasti 2 je zapotřebí mnohem větší střížná síla než při oddělování protější vodorovné strany, která je oddělována vrchním břitem. Při oddělování vrchní vodorovné plochy je téměř po celou dobu zatěžována jedna oblast břitu, a proto byl aplikován technologický **otvor 3**, aby byla tato oblast co nejvíce ušetřena před abrazivním otěrem a s ním spojeným tepelným zatížením. **Otvor 4** slouží k prostupu špičky nože do pravé oblasti profilu. **Otvor** v místě **5** zabraňuje nežádoucí deformaci požadovaného profilu. Umístění **otvoru 6** má stejný důvod jako umístění otvoru 2. **Otvor 7** napomáhá snížení opotřebení břitu stejně jako otvor 3. Technologickým **otvorem 8** vystupuje špička nože z profilu. Aplikací technologických otvorů byla také snížena potřebná střížná práce potřebná k oddělení profilu.

Tab. 14 Velikost technologických otvorů

Otvor	1	2	3	4	5	6	7	8
a [mm]	20	30	20	15	3,5	30	20	30
b [mm]	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3

3.6 Výroba střížného nože

Výroba nože byla provedena na stanovišti údržby nástrojů v prostorách společnosti Shape. Nože jsou vyráběny na drátové řezačce Fanuc Robocut α -c400ib z materiálu AISI M2 (ČSN 19830). Více o tomto stroji je popsáno v kapitole (2.3.3.3) a o materiálu nože v kapitole (2.2.1).

Deset kusů nože tvaru A bylo již vyrobeno a naskladněno, protože se jedná o standardní nůž, který se používá pro výrobu výztuh platformy P13A a P33B. Nože jsou ořezávány po pěti kusech, protože nejvhodnější výška sloupce (z hlediska efektivity), který drátová řezačka obrábí je 50 milimetrů (tloušťka nože je 9,21 milimetru), a tak bylo nejprve obrobena prvních pět nožů tvaru B. Následovalo obrábění dalších pěti kusů tvaru B (celkem tedy deset kusů). Výroba jednoho kusu nože je stejně jako u nože A 55 minut. Čas potřebný k obrobění pěti kusů nožů je pětinašobný a činil přibližně 275 minut. Výrobou pěti kusů najednou jsou ušetřeny přípravné časy výroby, avšak strojní čas je v součtu stejný. Stejným způsobem probíhala výroba nožů tvaru C. Čas obrábění jednoho nože tvaru C je 55 minut, obdobně jako nože A a B.

Polotovary pro všechny tvary nožů stejné. Cena polotovaru nože z materiálu AISI M2 je **420** amerických dolarů, což je v závislosti na kurzu **9632** korun českých (*stanoveno dle průměrného kurzu amerického dolaru vůči české koruně dle ČNB za rok 2019*). Cena ořezu nože tvaru A je stanovena na 222 korun.

3.7 Testování nožů

Testování nožů probíhalo v sériové výrobě na lince Shape Roll005. Z důvodu značných finančních nákladů musela testování předcházet důkladná příprava. Příprava obnášela:

- vytvoření instrukce pro operátory, kteří nože testovali v sériové výrobě,
- proškolení testujících operátorů všech tří pracovních směn (třísměnný provoz) a jejich nadřízených na danou problematiku,
- příprava vyrobených nožů (10 kusů tvaru A, 10 kusů tvaru B, 10 kusů tvaru C),
- popis nožů dle tvarů (A, B, C) a pořadové číslo každého z nich (1 až 10),
- vytvoření tabulky pro zápis počtu stříhů konkrétního nože a důvod výměny,
- vytvoření místa pro odběr nových nožů (*Obr. 52*), které byly poskládány dle tvaru a v přesném pořadí (1. až 10.) dle očíslování (1. nahoře).
- vytvoření místa pro vrácení použitých nožů, které se umísťovaly také dle tvaru a pořadí (1. dole, 10. nahoře).



Obr. 52 Nože připravené k testování

Po přípravě následoval samotný test. Testovací cyklus probíhal následovně:

- vložení nového nože **A** do závěsné stříhací hlavy,
- vložení nové střížnice do závěsné stříhací hlavy,
- spuštění výroby a kontrola vyrobených dílů v oblasti dělené plochy,
- nalezení otřepů mimo toleranci – zápis počtu stříhů nožem **A**,
- výměna nože **A** za nový nůž **B**,
- kontrola střížnice a případná výměna v případě opotřebení,
- opětovné spuštění výroby a kontrola vyrobených dílů v oblasti dělené plochy,
- nalezení otřepů mimo toleranci – zápis počtu stříhů nožem **B**,
- výměna nože **B** za nový nůž **C**,
- kontrola střížnice a případná výměna v případě opotřebení,
- opětovné spuštění výroby a kontrola vyrobených dílů v oblasti dělené plochy,
- nalezení otřepů mimo toleranci – zápis počtu stříhů nožem **C**,
- výměna nože **C** za nový nůž **A**,
- opakování cyklu do spotřebování 30 kusů nožů (A, B, C).

Testem byla zjištěna důležitá data o počtu stříhů, které je daný nůž schopen vyrobit bez otřepů, nebo s otřepy, které jsou v toleranci a způsob jeho opotřebení.

Po vyjmutí opotřebeného nože z výrobní linky následovalo:

- uložení nože na sběrné místo dle tvaru a pořadí,
- vizuální zhodnocení poškození nože,
- fotodokumentace každého nože,
- zaslání nože na opravu (přeostření), pro další použití.

3.8 Výsledky praktického ověření

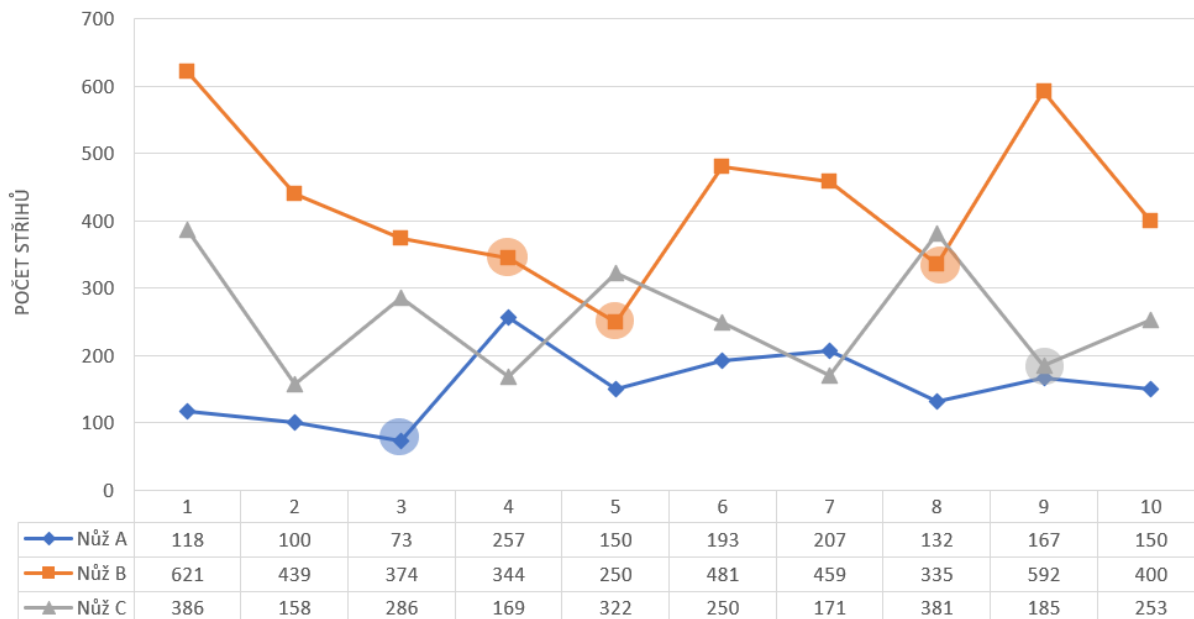
Tabulka (Tab. 15) uvádí hodnoty počtu stříhů, které daný nůž nastříhal a v závorce je uveden důvod výměny. Důvodem výměny bývá buď tvorba otřepů na dělené součásti nebo zlomení nože. V kapitole (2.3.3.7) bylo vysvětleno, které otřepy jsou již mimo toleranci a jak probíhá jejich kontrola. Odkud pochází i následující citace. „Tolerance velikosti otřepů je dána požadavkem zákazníka. Testované projekty mají toleranci na velikost otřepu danou zákazníkem 2 milimetry. Vzhledem ke značné nestabilitě velikosti daného defektu jsou otřepy vyhodnocovány na každém kusu (operátorem) vizuálně a hmatem ve speciálních proti průřezných rukavicích. Interní kritérium pro výměnu nože je stanoveno při otřepch od 1 do 1,5 milimetru. “

Tab. 15 Naměřená data počtu stříhů

ČÍSLO NOŽE	TVAR NOŽE		
	NŮŽ A (původní)	NŮŽ B	NŮŽ C
	POČET STŘIHŮ (důvod výměny)		
1	118 (otřepy)	621 (otřepy)	386 (otřepy)
2	100 (otřepy)	439 (otřepy)	158 (otřepy)
3	73 (zlomený nůž)	374 (otřepy)	286 (otřepy)
4	257 (otřepy)	344 (zlomený nůž)	169 (otřepy)
5	150 (otřepy)	250 (zlomený nůž)	322 (otřepy)
6	193 (otřepy)	481 (otřepy)	250 (otřepy)
7	207 (otřepy)	459 (otřepy)	171 (otřepy)
8	132 (otřepy)	335 (zlomený nůž)	381 (otřepy)
9	167 (otřepy)	592 (otřepy)	185 (zlomený nůž)
10	150 (otřepy)	400 (otřepy)	253 (otřepy)
SUMA (stříhů celkem)	1547	4295	2561
Ø POČET STŘIHŮ	154,7	429,5	256,1

Graf (Obr. 53) vychází z naměřených hodnot, které jsou uvedeny v tabulce (Tab. 15). Na svislé ose jsou uvedeny počty stříhů a na vodorovné ose jsou uvedené čísla nožů (1 až 10). Některé body na grafu jsou v kruhu a znamenají, že příčinou výměny nože bylo zlomení. Z grafu je patrné, že nejlepších výsledků dosahoval nůž tvaru B. Vyjma nože číslo 5, který se zlomil, byla životnost nože B vždy nad 300 stříhů (průměrně 429,5 stříhů). Nejlepší výsledku dosáhl hned nůž číslo jedna, který vydržel dokonce 621 stříhů. Nevýhodou nože B bylo to, že se ze všech tvarů nožů nejčastěji deformoval (tři nože z deseti byly zlomené). Nejhorších výsledků dosahoval zcela prokazatelně původní nůž A.

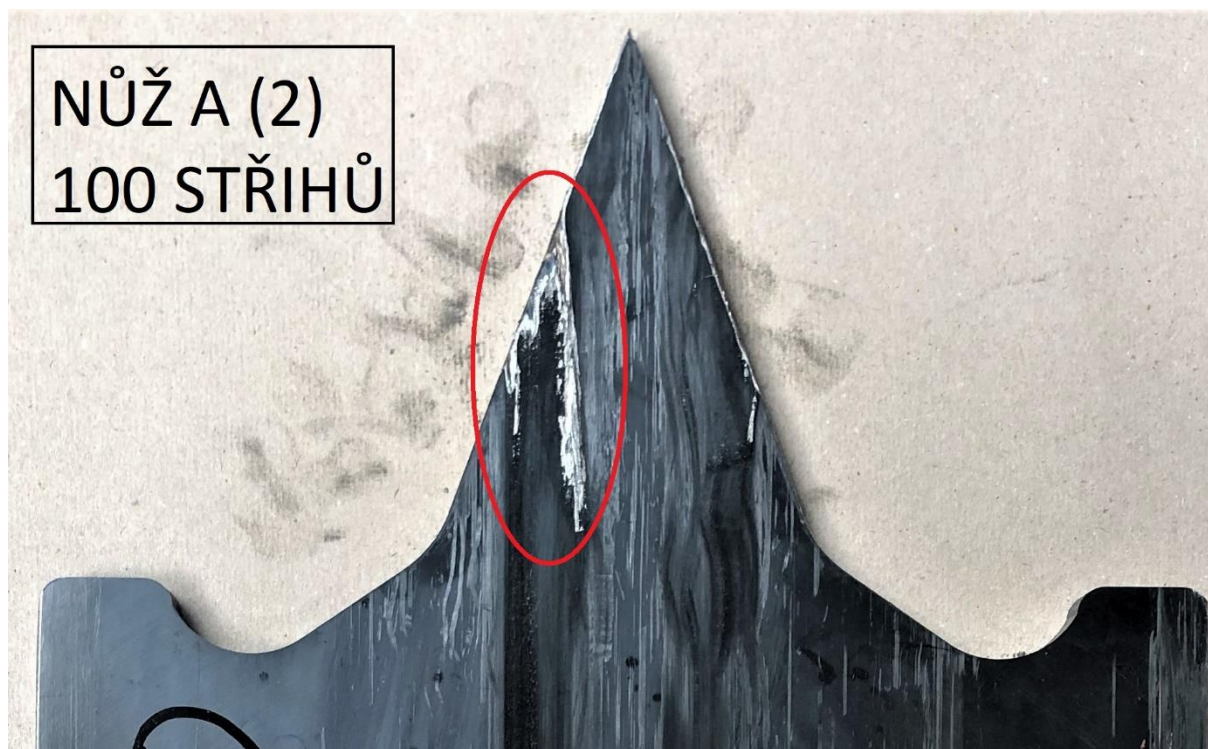
Jeho životnost přesáhla pouze dvakrát hranici 200 stříhů (průměrně 154,7). Spolu s nožem C se však nejméně lámal (pouze jedenkrát). Nůž C dosahoval průměrně 256,1 stříhu. Výhodou



Obr. 53 Graf naměřených hodnot počtu stříhů dle tvarů nožů

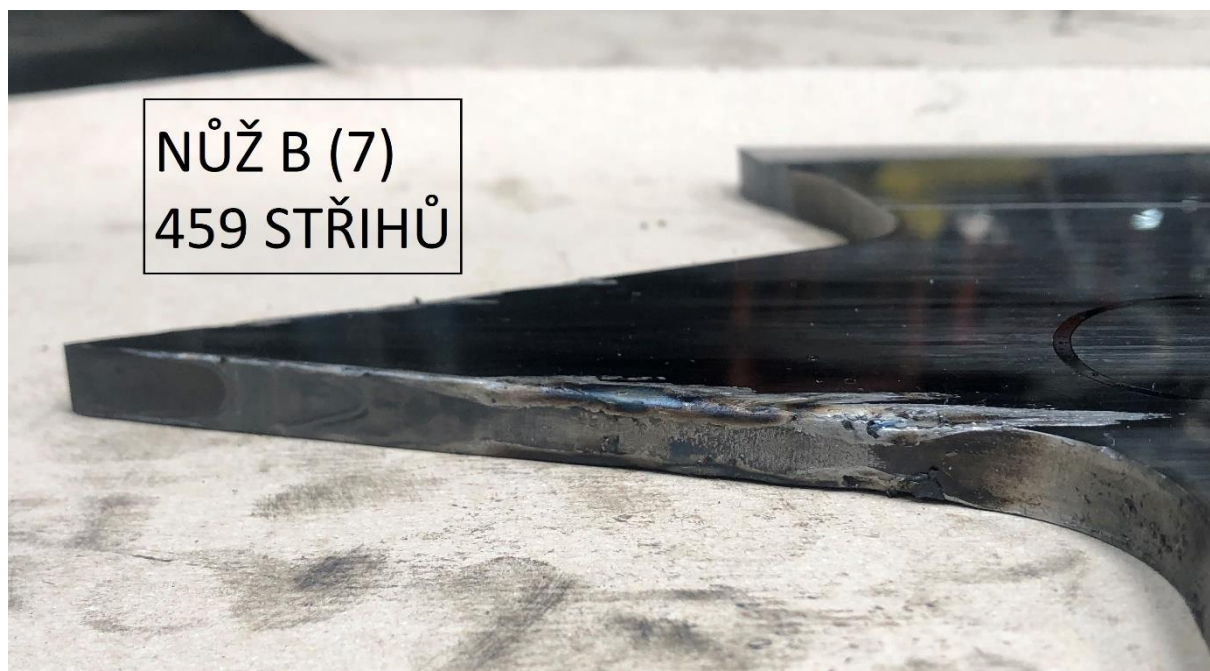
nože C je menší oblast opotřebení než u ostatních nožů, čímž by teoreticky mohl být vícekrát přeastřeny. Na toto tvrzení bylo však získáno malé množství dat.

Ukázka otupení nože A-2 po stovce stříhů je vyobrazeno na obrázku (Obr. 54). Otupení ostatních nožů A bylo téměř totožné. Zlomený byl pouze jeden nůž tvaru A.



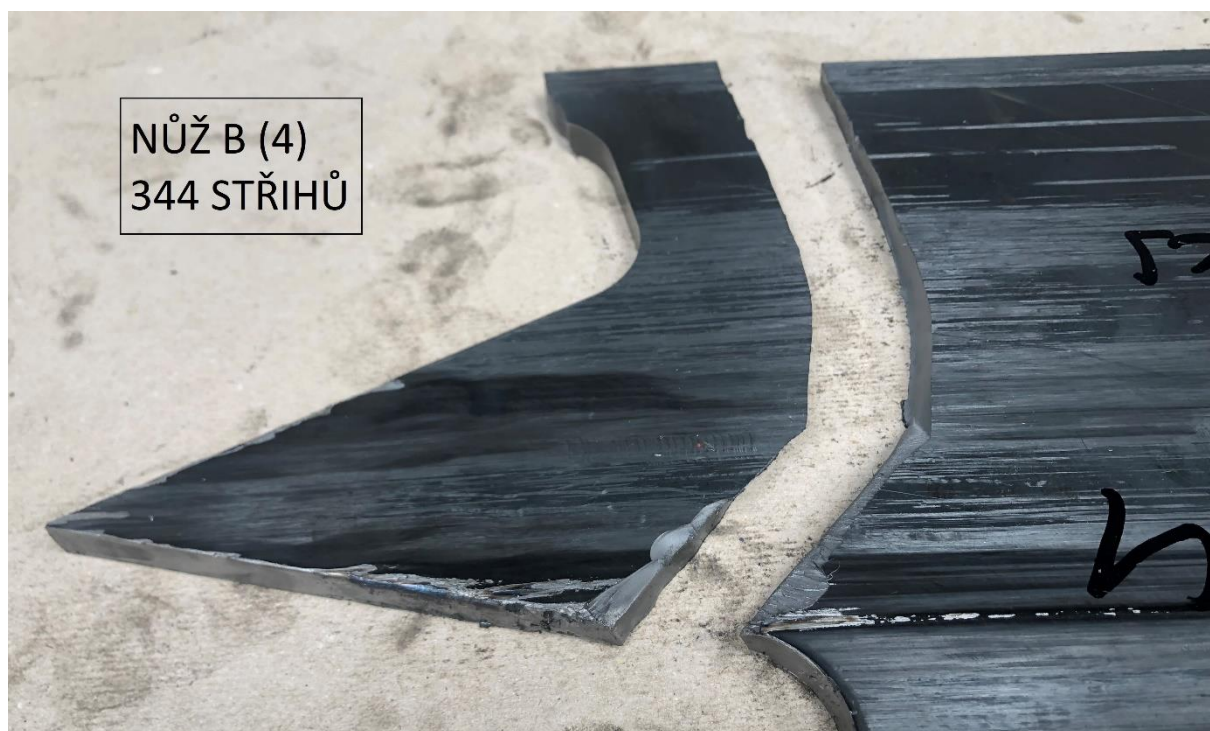
Obr. 54 Opotřebený nůž A

Na následujícím obrázku (*Obr. 55*) je konkrétně znázorněno otupení nože B-7 po 459 střížích.



Obr. 55 Otupení nože B po 459 střížích

Nůž B vykazoval náchylnost k lámání, viz obrázek níže (*Obr. 56*).



Obr. 56 Deformace nože B po 344 střížích

Na dalším obrázku (Obr. 57) je příklad opotřebení nože C-5, který provedl 322 stříhů. Tento nůž vykazoval podobný typ opotřebení jako nůž A, avšak menší a po více střízích.



Obr. 57 Otupeň nože C po 322 střízích

4 Technicko-ekonomické hodnocení

4.1 Náklady na výrobu nože (NVN)

Náklady na výrobu nože se skládají z ceny polotovaru (tzv. blanku) a z ceny ořezu na drátové řezačce. Doba ořezu jednoho nože je přibližně 55 minut. Obvykle se vyrábí pět kusů nožů najednou, aby byl ušetřen přípravný čas výroby. Doba ořezu 5 kusů nožů je tedy přibližně 275 minut, což je dáno vlastnostmi stroje a tento čas při zachování požadovaných kvalit řezu není možné výrazně zkrátit. Rozdíl v čase obrábění mezi noži tvaru A, B, C je pouze v řádu %, což je vzhledem k celkové době obrábění zanedbatelné, a proto je cena ořezu pro všechny tvary nože převzata z ceny ořezu nože A. Cenu ořezu jednoho nože (pro projekt P13A a P33) má společnost Shape stanovena na **222** korun českých (*stav ke dni 1.6.2020*). Cena polotovaru (blanku) je **420** amerických dolarů, což je v závislosti na kurzu **9632** korun českých (*stanoveno dle průměrného kurzu amerického dolaru vůči české koruně dle ČNB za rok 2019*).

$$\text{Náklady na výrobu nože (NVN)} = \text{cena polotovaru} + \text{cena ořezu [Kč]}$$

$$NVN = 9632 + 222$$

$$\text{Náklady na výrobu nože} = \mathbf{9854 [Kč]}$$

Náklady na výrobu všech tří typů nožů (A, B, C) jsou vyčísleny na **9854** korun českých. Částka na opravu nože je stejná jako cena ořezu (222,- Kč).

4.2 Náklady na výměnu nože (NZN)

Velikost nákladů na výměnu nástroje závisí na **velikosti nákladů na výrobu nože**, na **době výměny nože** a na **nákladech na prostoj výrobní linky**.

Každá výměna střižných nástrojů má za následek prostoje výrobní linky. Sazba **hodinového** prostoje profilovací výrobní linky Shape Roll005 je vyčíslena na **352,6 EUR**, což je **9052** korun (*stanoveno dle průměrného kurzu eura vůči české koruně dle ČNB za rok 2019*). Sazba hodinového prostoje výrobní linky se odvíjí kromě aktuálního kurzu také na vytížení dané výrobní linky.

Průměrná doba výměny nástroje (v dělicí hlavě Hydcut 151) je **5,5** minuty (0,0916 hodiny). Čas průměrné výměny byl stanoven na základě dlouhodobých dat z kontrolního panelu stroje, kam operátor zadává začátek a konec prostoje výrobní linky a jeho odůvodnění.

Náklady na výměnu nože (NVN) jsou vypočteny v předchozí kapitole.

$$NZN = \text{Náklady na výrobu nože (NVN)} + (\text{Doba výměny} \times \text{Náklady prostoje linky})$$

$$NZN = 9854 + (0,0916 \times 9052)$$

$$\text{Náklady na výměnu nože} = \mathbf{10683 \text{ [Kč]}}$$

4.3 Náklady na jeden stříh (NNS)

Klíčovým ukazatelem výsledků práce jsou výsledky nákladů na jeden stříh, protože varianta s nejnižšími náklady je tou nejvýhodnější variantou pro společnost Shape.

Aby mohly být vypočteny náklady na jeden stříh, je nutné znát náklady na výměnu nože (v těch je zahrnuta cena nože a cena výměny) a průměrný počet stříhů jednotlivých testovaných variant, který je vynásoben pěti, protože nůž je možné průměrně pětikrát oříznout (včetně výroby) a znovu použít ve výrobní lince. Ze stejného důvodu je stejně tak vynásobena pětikrát cena ořezu a doba výměny.

$$NNS = \frac{(\text{Cena pol.} + 5 \times \text{Cena ořezu}) + 5 \times (\text{Doba výměny} \times \text{Náklady prostoje linky})}{5 \times \text{Průměrný počet stříhů}}$$

$$NNS_{NŮŽ A} = \frac{(9632 + 5 \times 222) + 5 \times (0,0916 \times 9052)}{5 \times 154,7}$$

V následující tabulce (*Tab. 16*) jsou uvedené vstupní hodnoty pro výpočet nákladů na jeden stříh a v tabulce (*Tab. 17*) jsou uvedeny výsledky nákladů na jeden stříh.

Tab. 16 Vstupní hodnoty pro výpočet nákladů na jeden stříh

Tvar nože	Cena polotovaru [Kč]	Cena ořezu [Kč]	Doba výměny [h]	Náklady prostoje linky [Kč/h]	Průměrný počet stříhů [ks]
Nůž A	9632	222	0,0916	9052	154,7
Nůž B	9632	222	0,0916	9052	429,5
Nůž C	9632	222	0,0916	9052	256,1

Tab. 17 Náklady na jeden stříh dle tvaru nože

Tvar nože	Náklady na jeden stříh (NNS) [Kč]	Procentuální vyjádření úspory
Nůž A	19,25	100 % → 0 %
Nůž B	6,93	36 % → - 64 %
Nůž C	11,63	60 % → - 40 %

Použitím nože B klesají náklady na jeden stříh o **64 %** z 19,25 korun za stříh na 6,93 korun za stříh. Použitím nože C klesají náklady o **40 %** z 19,25 koruny za stříh na 11,63 korun za stříh.

4.4 Kalkulace při roční produkci 500 000 kusů

Roční plánovaná produkce bezpečnostních výztuh, jejichž dělení je předmětem této práce, je 500 000 kusů. Proto je v této kapitole provedena analýza počtu výměn při použití jednotlivých variant nožů na základě získaných dat. K výpočtu jsou použity průměrné hodnoty počtu stříhů, které byly naměřeny při testu nožů. Vstupní hodnoty pro výpočet jsou uvedeny v tabulce (Tab. 18).

Tab. 18 Hodnoty pro vyhodnocení počtu výměn a pro náklady na výměny při produkci 500000 kusů

Tvar nože	Průměrný počet stříhů dle tvaru nože [ks]	Roční produkce [ks]	Náklady na jeden stříh (NNS) [Kč]
Nůž A	154,7	500 000	19,25
Nůž B	429,5	500 000	6,93
Nůž C	256,1	500 000	11,63

V následující tabulce (Tab. 19) jsou vypočtené počty výměn nožů a náklady v korunách na předpokládanou roční produkci 500 000 kusů.

Tab. 19 Počet výměn a náklady na výměny při produkci 500000 kusů

Tvar nože	Počet výměn nožů při plánované roční produkci 500 000 kusů [ks]	Počet nových nožů [ks] $\left(\frac{\text{počet výměn}}{\text{počet přestřehů}}\right)$	Náklady na 500000 kusů [Kč] $(NNS \times \text{plánovaná produkce})$
Nůž A	$\frac{\text{plán}}{\emptyset \text{ stříhů}} = \frac{500\,000}{154,7} = 3\,232$	$\frac{\text{poč.vým}}{\text{přestř.}} = \frac{3232}{5} = 646$	$19,25 \times 500\,000 = \mathbf{9\,625\,000}$
Nůž B	$\frac{\text{plán}}{\emptyset \text{ stříhů}} = \frac{500\,000}{429,5} = 1\,164$	$\frac{\text{poč.vým}}{\text{přestř.}} = \frac{1164}{5} = 233$	$6,93 \times 500\,000 = \mathbf{3\,465\,000}$
Nůž C	$\frac{\text{plán}}{\emptyset \text{ stříhů}} = \frac{500\,000}{256,1} = 1\,952$	$\frac{\text{poč.vým}}{\text{přestř.}} = \frac{1952}{5} = 390$	$11,63 \times 500\,000 = \mathbf{5\,815\,000}$

V další tabulce (Tab. 20) je vyčíslena finanční úspora při použití nože B a C vůči původnímu noži A.

Tab. 20 Finanční úspory při předpokládané roční produkci

Tvar nože	Náklady na 500000 kusů [Kč]	Finanční úspora oproti variantě A [Kč]
Nůž A	9 625 000	—
Nůž B	3 465 000	$9\,625\,000 - 3\,465\,000 = \mathbf{6\,160\,000}$
Nůž C	5 815 000	$9\,625\,000 - 5\,815\,000 = \mathbf{3\,810\,000}$

Při plánované roční produkci 500 000 kusů lze použitím nože B ušetřit výrazných **6 160 000** korun českých. I při použití nože tvaru C lze docílit výrazné úspory a to celkem **3 810 000** korun českých.

5 Diskuze výsledků

Projekty P13A, B12L a P33B měly start sériové výroby v letech 2019/2020, což znamená, že se jedná o zcela nové projekty, které jsou na začátku svého pětiletého výrobního cyklu. Před tím, než je spuštěna sériová výroba, probíhá tzv. maturační fáze, ve které probíhá ladění projektu. V maturační fázi se vyrábí v testovacích dávkách do 1000 kusů. Vzhledem ke změnovým konstrukčním řízením, které probíhají na základě testů automobilek de facto až do startu sériové výroby, není možné výrobky z maturačních fází prodat. Odstraňování vzniklých problémů se stříhem tak probíhá často až se startem sériové výroby.

Na startu sériové výroby byl použit nůž A. Výsledky tohoto nože v sériové výrobě však nejsou zcela uspokojivé, protože mají poměrně nízkou životnost, a proto právě vznikl požadavek na zvýšení počtu stříhů. Z tohoto důvodu vznikly dva nové tvary nožů B a C. Na základě testu těchto nožů jsou k dispozici data, na základě kterých je možno jednotlivé nože vzájemně porovnat dle definovaných kritérií. Vzhledem k finanční náročnosti testu byla zvolena velikost testovacích vzorků na 10 kusů od každého tvaru, celkem tedy 30 kusů. Cena vstupního materiálu (nožů) potřebného pro test se vyšplhala na **295 620 korun českých**. Test probíhal v podmínkách sériové výroby směnného provozu, čemuž musela být přizpůsobena kritéria vyhodnocení (měření všech kusů apod.). Výměna střižnic při testu neprobíhala po každém noži, protože jejich výměna zabírá téměř tři hodiny. Byl zvolen kompromis jejich výměny po čtyřech nožích tak, aby byl minimalizován vliv stavu střižnic na životnost nožů a docházelo k rotaci výměny (výměna pokaždé před jiným tvarem nože) a zároveň nedocházelo k neúměrnému prodražování testu. Testováním bylo vyrobeno celkem **8403 dílů**, které byly nastříhány dle tvarů nožů v poměru **1547: 4295: 2561** (nůž A: nůž B: nůž C).

Výměna nožů probíhala vždy při tvorbě otřepů, které přesáhli interní toleranci. Tolerance velikosti otřepů je dána požadavkem zákazníka. Testované projekty mají toleranci na velikost otřepu danou zákazníkem 2 milimetry. Vzhledem ke značné nestabilitě velikosti daného defektu jsou otřepy vyhodnocovány na každém kusu (operátorem) vizuálně a hmatem ve speciálních proti průřezných rukavicích. Interní kritérium pro výměnu nože je stanoveno při otřepech od 1 do 1,5 milimetru.uz

Na základě výpočtů a testů, byla k jednotlivým nožům zjištěna následující data (Tab. 21).

Tab. 21 Naměřená a kalkulovaná data

Tvar nože	Nůž A	Nůž B	Nůž C
Kalkulovaná střižná síla [N]	181 687,8	111 038,9	146 699,1
Potřebný tlak hydraulického zařízení [MPa]	14,8	9,05	11,95
Průměrná životnost nože [stříhů]	154,7	429,5	256,1
Četnost zlomení nože při testu [-]	1	3	1
Maximální počet stříhů [-]	257	621	386
Náklady na jeden stříh [Kč]	19,25	6,93	11,63
Náklady na 500 000 stříhů [Kč]	9 625 000	3 456 000	5 815 000
Počet výměn při 500 000 střížích [-]	3 232	1 164	1 952
Počet nových nožů při 500 000 střížích [-]	646	233	390

Tab. 22 Výsledné parametry nože A

Výsledné parametry nože A	Číselné hodnoty
Nejvyšší kalkulovaná střižná síla z testovaných nožů	181687,8 [N]
Nejvyšší potřebný tlak hydraulického zařízení	14,8 [MPa]
Nejnižší průměrná životnost nože z testovaných nožů	154,7 stříhů
Nejnižší četnost zlomení nože (spolu s nožem C)	1 zlomení
Hodnota maximálního počtu stříhů jedním nožem	257 stříhů
Pouze dvakrát životnost přesáhla 200 stříhů	
Nejvyšší náklady na jeden stříh z testovaných nožů	19,25 [Kč]
Nejvyšší náklady na 500 000 stříhů z testovaných nožů	9 625 000 [Kč]
Nejvyšší počet výměn při 500 000 střížích	3 232 výměn
Nejvyšší počet nových nožů při 500 000 střížích	646 nových nožů

Tab. 23 Výsledné parametry nože B

Výsledné parametry nože B	Číselné hodnoty
Nejnižší kalkulovaná střižná síla z testovaných nožů	111038,9 [N] → - 38,9 %
Nejnižší potřebný tlak hydraulického zařízení	9,05 [MPa]
Nejvyšší průměrná životnost nože z testovaných nožů	429,5 stříhů
Nejvyšší četnost zlomení nože z testovaných nožů	3 zlomení
Hodnota maximálního počtu stříhů jedním nožem	621 stříhů
Pouze jedenkrát životnost klesla pod 300 stříhů,	
Nejnižší náklady na jeden stříh z testovaných nožů	6,93 [Kč] → - 64 %
Nejnižší náklady na 500 000 stříhů z testovaných nožů	3 465 000 [Kč]
Nejnižší počet výměn při 500 000 střížích	1 164 výměn
Nejnižší počet nových nožů při 500 000 střížích	233 nových nožů

Nůž C:

Tab. 24 Výsledné parametry nože C

Výsledné parametry nože C	Číselné hodnoty
Střední kalkulovaná střižná síla z testovaných nožů	146699,1 [N] → - 19,3 %
Střední potřebný tlak hydraulického zařízení	11,95 [MPa]
Střední průměrná životnost nože z testovaných nožů	256,1 stříhů
Nejnižší četnost zlomení nože (spolu s nožem A)	1 zlomení
Hodnota maximálního počtu stříhů jedním nožem	386 stříhů
Velké výkyvy v životnosti nože	
Střední náklady na jeden stříh z testovaných nožů	11,63 [Kč] → - 40 %
Střední náklady na 500 000 stříhů z testovaných nožů	5 815 000 [Kč]
Střední počet výměn při 500 000 střízích	1 952 výměn
Střední počet nových nožů při 500 000 střízích	390 nových nožů

Nejdůležitějšími daty pro společnost Shape jsou **průměrná životnost nože, náklady na jeden stříh a náklady na 500 000 stříhů.**

Příčinou, proč nůž B svojí životností předčil oba dva další nože, je pravděpodobně nejvhodněji, navržený tvar střižné části nože a části pro odchod odstřížků. Dělení tímto nožem jednak vykazovalo nejmenší střižné síly a jednak v průběhu stříhu byl nejprve dělen spodní svar profilu a až poté byl dělen horní svar, což nespíš mělo velký přínos na životnost nože. Takovýto tvar nože však způsobil, že nůž po větším opotřebení nevydržel vysoké zatížení a celkem třikrát v testu praskl. Prasknutí však nastalo až po 344 střízích čtvrtého nože, 250 střízích pátého nože a 335 střízích osmého nože, což jsou hodnoty, které v průměru i tak převyšují ostatní dva tvary nožů.

Původní nůž A je z hlediska teorie navržen téměř ideálně, protože v průběhu stříhu je zatížení spodního a horního břitu téměř v rovnováze (poloha výslednice téměř v ose nože). Dodržováním této zásady však způsobilo, že dělení nožem tvaru A vyžadovalo největší střižnou sílu a byly děleny oba svary najednou.

Dělení nožem C vykazovalo delší životnost než dělení nožem A (avšak nižší než nožem B) a to pravděpodobně proto, že má nůž ostřejší tvar špičky o 5 stupňů, takže i střižná síla byla menší. Průchod oblastní svarů byl podobnější průběhu noži B (nejprve začalo oddělování spodní svaru, a pak se přidalo oddělování horního svaru), což mohlo mít také příznivější vliv na životnost nože.

6 Závěr

Dělení válcovaných bezpečnostních výztuh je velice specifické odvětví v automobilovém průmyslu, kterým se zabývá pouze malé množství výrobců, a proto je v tomto oboru stále prostor pro inovace a zlepšení. Materiál Docol® 1500M, ze kterého jsou výztuhy vyráběny, jsou vyvinuté výhradně pro aplikaci bezpečnostních prvků vozidel. Jedná se o jednu z nejpevnějších za studena tvářených ocelí, které jsou na trhu k dispozici. To klade velmi vysoké nároky na nástroje, kterými jsou profily děleny, ať už z hlediska materiálu, tak z hlediska konstrukce.

Cílem práce bylo nahrazení současného střížného nože nožem jiného konstrukčního řešení tak, aby byla zvýšena životnost nástroje a aby byly sníženy náklady na jeden stříh při dělení profilu monoleg, který se používá jako bezpečnostní výztuha nárazníku ve vozidlech Nissan Qashqai, Nissan Juke a Nissan Leaf.

Nejprve byl proveden konstrukční návrh dvou nových variant nožů. V dalším kroku proběhla simulace průběhu stříhů v CAD softwaru. Na základě výsledků simulace byly navrženy a provedeny další nutné úpravy, které byly znovu simulovány. Současně se simulací byl proveden výpočet velikosti střížných sil, polohy jejich výslednice, výpočet potřebného pracovního tlaku hydraulického zařízení a výpočet střížné vůle. V další fázi byla vymyšlena poloha technologických otvorů, které při správném umístění snižují střížnou práci potřebnou k oddělení profilu, pomáhají snížit opotřebení břitů a v neposlední řadě pomáhají vyrovnávat zatížení břitů a tím zamezit přičení nože. Následně byla provedena výroba testovaných nožů. Od každého tvaru deset kusů, celkem tedy třicet kusů nožů v celkové hodnotě 295 600 korun českých.

Protože testování probíhalo v sériové výrobě a v třísměnném provozu, musela před samotným testováním proběhnout důkladná příprava. Ta obnášela vytvoření testovací instrukce, proškolení zúčastněných operátorů a jejich nadřízených, vytvoření tabulky pro zápis počtu stříhů, které byl jednotlivý nůž schopen vyrobit a důvod jeho výměny. Příprava výdejního místa pro odběr nových nožů a místa, kam se použité nože vraceli. Následoval samotný test, jehož výstupem byla potřebná data počtu stříhů, které daný nůž provedl v toleranci velikosti otřepů a důvod výměny nože. Z těchto výsledků bylo možné provést výpočet průměrného počtu stříhů, který jednotlivý tvar nože dokázal provést. Vyjmuté opotřeбенé nože byly zkontrolovány a vyfoceny.

Další fází bylo provedení jednotlivých ekonomických kalkulací. Nejprve byla vypočtena cena nože a cena výměny nože. Tyto hodnoty bylo nutné znát pro výpočet nákladů na jeden stříh, které jsou klíčovým ukazatelem pro společnost Shape. Protože je roční předpoklad výroby 500 000 kusů tohoto výrobku, byly vypočteny i náklady na 500 000 stříhů a počet výměn nožů.

Z výše získaných dat vyšla nejvýhodněji varianta tvaru nože B, která v testu naprosto dominantně zvítězila. Jako nejkritičtější (u nože B) se ukázalo navrhnout tvar tak, aby se vyhýbal dělení obou svarů najednou, což se podařilo, avšak má to za následek, že špička tohoto tvaru má nižší tuhost než nože tvaru A a C. Z tohoto důvodu docházelo u nože B k častějšímu prasknutí.

Druhou nejlepší variantou je nůž číslo C, který sice nedosahoval kvalit nože B, avšak jeho průměrná životnost je o více než sto stříhů vyšší než u nože A (náklady na jeden stříh jsou o výrazných 40 % nižší). Nejhorších výsledků v testu dosáhla současně používaná varianta A.

Z výsledků je tedy patrné, že cíl práce byl splněn, protože obě nově navržené varianty výrazně předčily v zadaných parametrech nůž původní.

Shrnutí výsledků nože B, jehož parametry v rámci testování vycházejí nejlépe jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 25).

Tab. 25 Shrnutí výsledků nože B

Výsledné parametry nože B	Číselné hodnoty
Nejnižší kalkulovaná střižná síla z testovaných nožů	111038,9 [N] → - 38,9 %
Nejnižší potřebný tlak hydraulického zařízení	9,05 [MPa]
Nejvyšší průměrná životnost nože z testovaných nožů	429,5 stříhů
Nejvyšší četnost zlomení nože z testovaných nožů	3 zlomení
Hodnota maximálního počtu stříhů jedním nožem	621 stříhů
Pouze jedenkrát životnost klesla pod 300 stříhů,	
Nejnižší náklady na jeden stříh z testovaných nožů	6,93 [Kč] → - 64 %
Nejnižší náklady na 500 000 stříhů z testovaných nožů	3 465 000 [Kč]
Nejnižší počet výměn při 500 000 střížích	1 164 výměn

Celý projekt byl technicky konzultován s inženýry ze společností Shape USA a Shape China, protože v těchto lokalitách vyrábějí velmi podobný profil pro americký a čínský trh. Vzhledem k atypičnosti výroby je zde velký potenciál pro zlepšení návrhu.

Doporučení pro budoucí úpravy jsou:

- zaměření se pouze na nůž B,
- optimalizovat tvar tak, aby bylo minimalizováno jeho lámání, neboť zlomený nůž může poškodit nákladné střižnice,
- prověření možnosti zvětšení technologických otvorů (limitováno ohybem jednotlivých produktů), jež by dále usnadnilo dělení,
- zkouška menšího hydraulického válce, který má rychlejší plnění, čímž by bylo možné zvýšit střižnou rychlost (snížení času na výrobu dílu).

Použitá literatura

- [1] **Lenfeld, Petr.** Technologie II : tváření kovů, zpracování plastů. [Online] 2005. [Citace: 2. 11 2019.] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm.
- [2] **V., Benešová S. – Bernášek.** *Technologie tváření*. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2014. ISBN 978-80-261-0449-0.
- [3] **Josef Novotný, Zdeněk Langer.** *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha : autor neznámý, 1980. SNTL.
- [4] **Bobčík, Ing. Ladislav.** *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983. 04-229-83.
- [5] **Jeremy He.** M2 Tool Steel | 1.3343 | HS-6-5-2C | SKH51. *Otai Special Steel* . [Online] [Citace: 7. 1 2020.] <https://www.astmsteel.com/product/m2-tool-steel-1-3343-hs-6-5-2c-sk51/#>.
- [6] **Jeremy He.** D2 Tool Steel | 1.2379 | X153CrMo12 | SKD11. *Otai Special Steel*. [Online] [Citace: 8. 1 2020.]
- [7] **RIZZO, A., L. MIRENGHI, M. MASSARO, U. GALIETTI, L. CAPODIECI, R. TERZI, L. TAPFER a D. VALERINI.** Improved properties of TiAlN coatings through the multilayer structure. *Surface and Coatings Technology* . 235, 2013, Sv. 475-483, ISSN 0257-8972.
- [8] **RUKO, GmbH.** TiAlN: The titanium-aluminium-nitride coating. *RUKO.de*. [Online] Copyright © RUKO GmbH Präzisionswerkzeuge, 7. 12 2017. [Citace: 27. 3 2020.] <https://www.ruko.de/en/blog/tialn-the-titanium-aluminium-nitride-coating>.
- [9] **SSAB, AB.** Data sheet 2138 Docol 1500M. *DOCOL The automotive steel*. [Online] 10. 5 2019. [Citace: 6. 4 2020.] <https://www.ssab.com/api/sitecore/Datasheet/GetDocument?productId=C5A4D03FC29D489C828AF1CA7021C42E&language=en>.
- [10] **PENTA TRADING, spol. s r.o.** Technické údaje ROBOCUT α -C400iB. *PENTA-EDM*. [Online] [Citace: 8. 4 2020.] <https://www.penta-edm.cz/dokumenty/produkty/fanuc-c400ib-penta-cj.pdf>.
- [11] *Moderní strojírenství pro školu i praxi.* **Dillinger, Josef.** Haan-Gruiten : Europa Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [12] **PENTA TRADING, spol. s r.o.** *FANUC ROBOCUT α -C400iB*. [Online] 2017. [Citace: 11. 4 2020.] <https://www.penta-edm.cz/fanuc-robocut-a-c400ib-dratova-rezacka/>.
- [13] **Humár, Antonín.** *Materiály pro řezné nástroje*. Praha : MM publishing, 2008. ISBN 9788025422502.

Seznam obrázků

Obr. 1 Bezpečnostní výztuha nárazníku	9
Obr. 2 Střížná vůle [1]	11
Obr. 3 Stříhání rovnoběžnými noži (kruhový střížník)	13
Obr. 4 Střížná práce (A) – proložení elipsou	15
Obr. 5 Stříhání rovnoběžnými noži [4]	16
Obr. 7 Úpravy střížníků a střížnic [1].....	17
Obr. 6 Rozdíl střížných obvodů [4].....	17
Obr. 8 Stříhání noži na profily a tyče	18
Obr. 9 Vícekotoučové nůžky	19
Obr. 10 Křivkové nůžky pro stříhání silně zakřivených obrysů	19
Obr. 11 Vliv vlastností materiálů na pracovní podmínky [13]	20
Obr. 13 Rozvin profilu tvaru C	25
Obr. 12 Profil tvaru C.....	25
Obr. 14 Profil tvaru D	26
Obr. 15 Rozvin profilu tvaru D	26
Obr. 16 Profil tvaru B.....	27
Obr. 17 Rozvin profilu tvaru B	27
Obr. 18 Profil tvaru Monoleg	28
Obr. 19 Rozvin profilu Monoleg.....	28
Obr. 20 Schéma Rollforming výrobní linky (zdroj: Shape Corp.).....	30
Obr. 21 Prostříhovací forma.....	31
Obr. 22 Rozmístění střížníků v prostříhovací formě dle požadavku na otvor	32
Obr. 23 Profilovací linka	33
Obr. 24 Schéma svařování Monoleg profilu	34
Obr. 25 Stříhací hlava pro monoleg profil	35
Obr. 26 Střížný nástroj pro monoleg profil	36
Obr. 27 Porovnání natočení střížného nože o 5° a o 0°.....	37
Obr. 28 Pohled na střížný nástroj shora	38
Obr. 29 Popis střížného nože.....	39
Obr. 30 Drátová řezačka Fanuc Robocut α -c400ib [10]	40
Obr. 31 Oprava stříhacího nože ořezem a vypodložení pomocí redukce.....	41
Obr. 32 Způsoby opotřebení nožů.....	42
Obr. 33 Pár střížnic monoleg profilu.....	43
Obr. 34 Umístění profilu ve střížnicích v uzavřeném stavu.....	43
Obr. 35 Rovinná bruska Bernardo BSG 4080 AHD	44
Obr. 36 Vyhovující dělená plocha.....	46
Obr. 37 Nevyhovující dělená plocha.....	47
Obr. 38 Nůž tvaru A.....	50
Obr. 39 Průběh stříhu nože A.....	51
Obr. 40 Nůž tvaru B	52
Obr. 41 Průběh stříhu nože B	53
Obr. 42 Nůž C	54

Obr. 43 Průběh stříhu nože C	55
Obr. 44 Poloha výslednice	57
Obr. 45 Pohled na stříh a hodnoty z CAD softwaru pro výpočet střížné síly nože A.....	58
Obr. 46 Poloha výslednice sil nože A	59
Obr. 47 Pohled na stříh a hodnoty z CAD softwaru pro výpočet střížné síly nože B	60
Obr. 48 Poloha výslednice sil nože B	61
Obr. 49 Pohled na stříh a hodnoty z CAD softwaru pro výpočet střížné síly nože C	61
Obr. 50 Poloha výslednice sil nože C	62
Obr. 51 Poloha technologických otvorů.....	66
Obr. 52 Nože připravené k testování.....	68
Obr. 53 Graf naměřených hodnot počtu stříhů dle tvarů nožů.....	70
Obr. 54 Opotřebený nůž A	70
Obr. 55 Otupení nože B po 459 střízích.....	71
Obr. 56 Deformace nože B po 344 střízích.....	71
Obr. 57 Otupení nože C po 322 střízích.....	72

Přílohy

Příloha A

Výrobní dokumentace

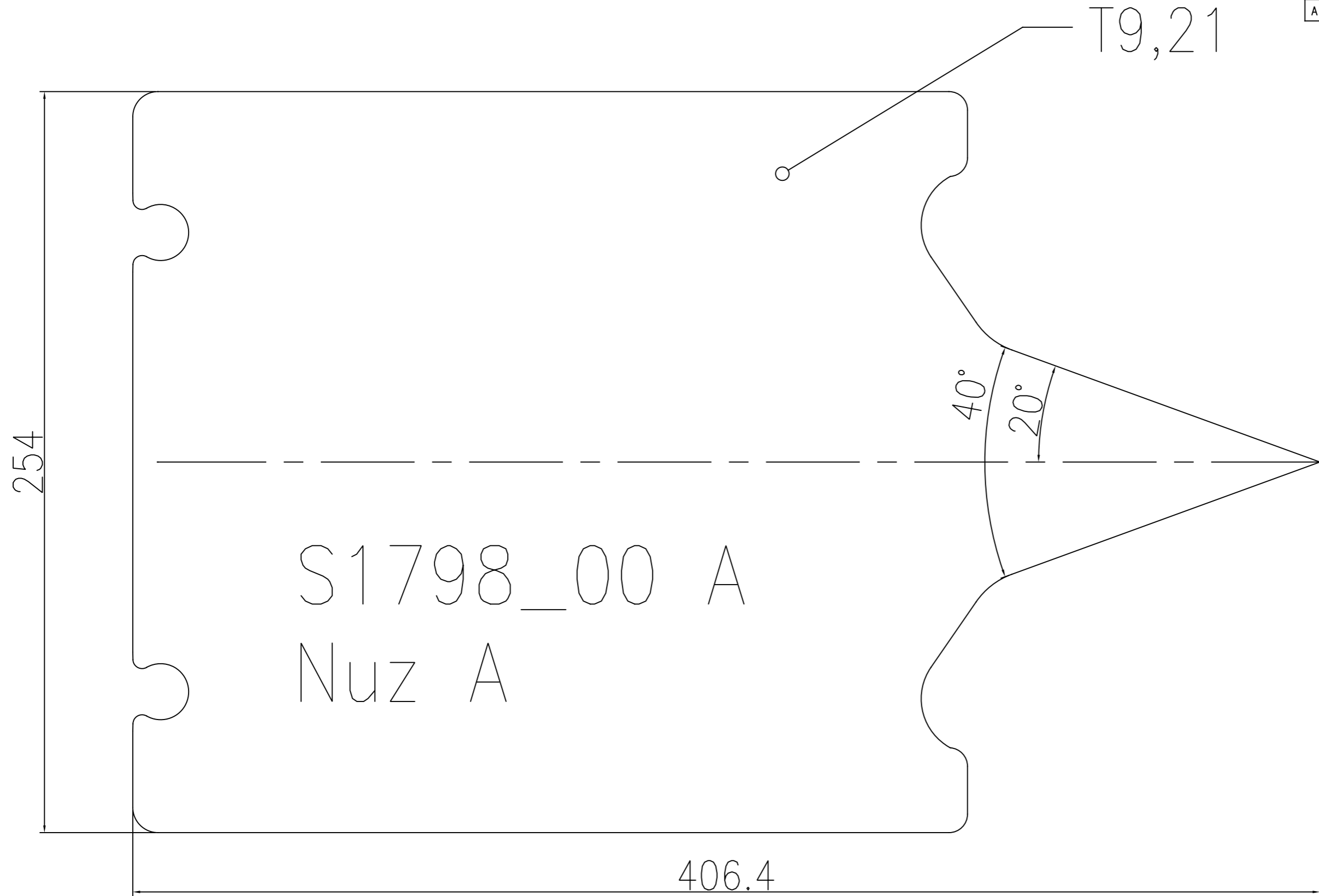
(Přiloženo v deskách.)

Výrobní výkres nože A (S1798_00 A)

Výrobní výkres nože B (S1798_00 B)

Výrobní výkres nože B (S1798_00 C)

REV	DESCRIPTION	MADE BY	TRACK NO	DATE
A	RELEASED	MICHAL		5/3/20



S1798_00 A
Nuz A

254

406.4

T9,21

TVAROVÉ PLOCHY OBRÁBĚT DLE dxf DAT

—	10	420 x 254 x 9,21	AISI M2
DETAIL	QTY	DESCRIPTION / STOCK SIZE	MATL
		SHAPE CORP. CZECH REPUBLIC PODNIKATELSKÁ 1183/41 301 00 PLZEŇ, CZECH REPUBLIC	
DESCRIPTION: TESTING BLADE P13A, P33B, B12P Type A			
SHAPE'S IDENTIFICATION NUMBER: —		DRAWING SIZE: A3	DRAWING SCALE: 1:2
SUPPLIER: —		SHAPE ASSET NUMBER: —	
DRAWN BY: Michal		DATE: 3.3.2020	REVIEWED BY: — DATE: 5.3.2020
CAD FILE NAME: —		SHEET: 1 OF 1	DRAWING NUMBER: S1798_00 A

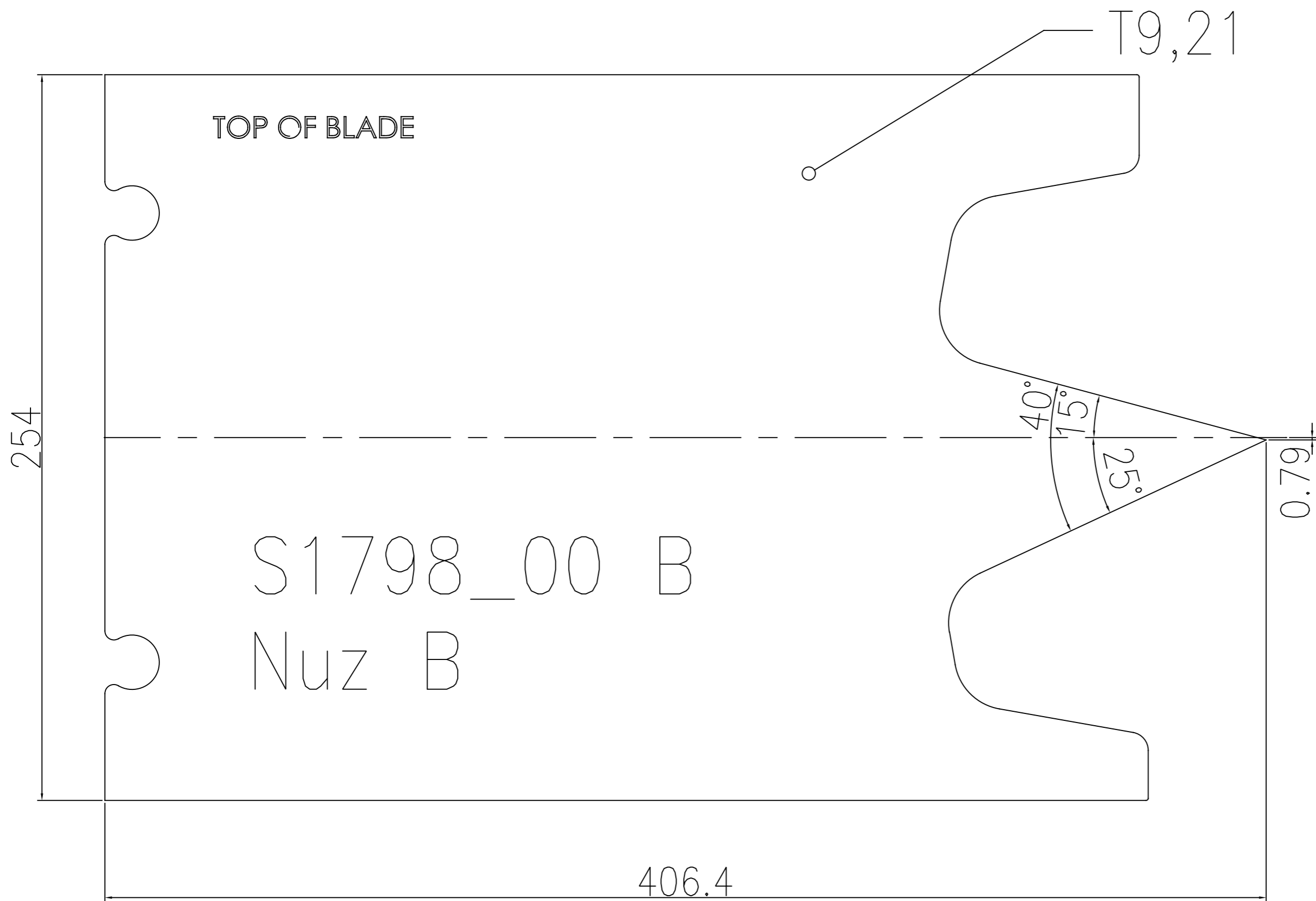
MM [INCH]

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED FOLLOW THE NORM: ČSN ISO 2768-1 K

FIRST ANGLE PROJECTION

BREAK ALL SHARP CORNERS UNLESS OTHERWISE SPECIFIED. ONCE DESIGN IS APPROVED ALL PRINT CHANGES MUST BE APPROVED AND DOCUMENTED. DO NOT SCALE.

REV	DESCRIPTION	MADE BY	TRACK NO	DATE
A	RELEASED	MICHAL		5/3/20



TVAROVÉ PLOCHY OBRÁBĚT DLE dxf DAT

DETAIL	QTY	DESCRIPTION / STOCK SIZE	MATL
-	10	420 x 254 x 9,21	AISI M2

shape CORP
 SHAPE CORP. CZECH REPUBLIC
 PODNIKATELSKÁ 1183/41
 301 00 PLZEŇ, CZECH REPUBLIC

DESCRIPTION: TESTING BLADE P13A, P33B, B12P Type B

SHAPE'S IDENTIFICATION NUMBER: -	DRAWING SIZE: A3	DRAWING SCALE: 1:2
-------------------------------------	---------------------	-----------------------

SUPPLIER: -	SHAPE ASSET NUMBER: -
----------------	--------------------------

DRAWN BY: Michal	DATE: 3.3.2020	REVIEWED BY:	DATE: 5.3.2020
---------------------	-------------------	--------------	-------------------

CAD FILE NAME: -	SHEET: 1 OF 1	DRAWING NUMBER: S1798_00 B
---------------------	------------------	-------------------------------

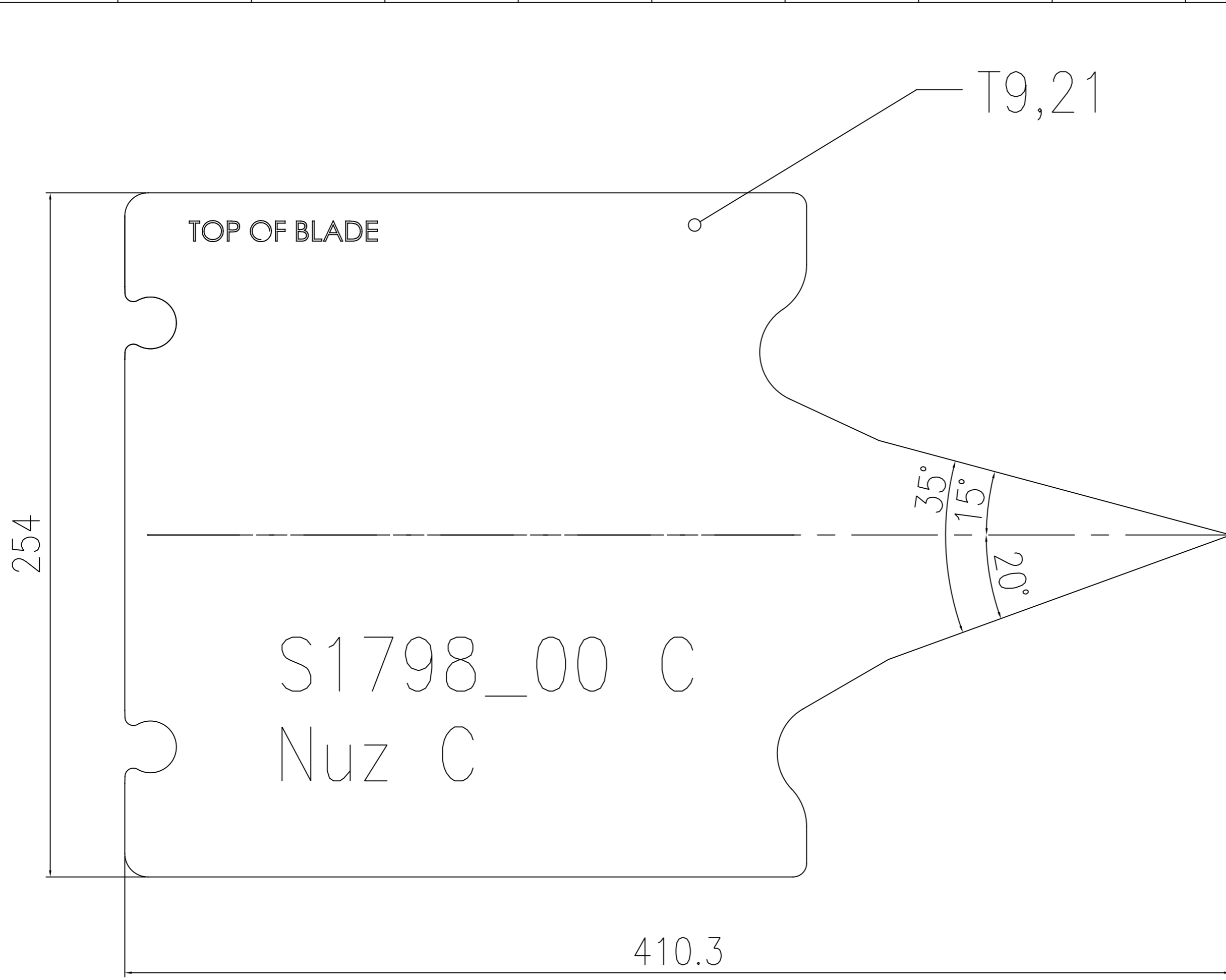
MM [INCH]

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED FOLLOW THE NORM:
ČSN ISO 2768-1

FIRST ANGLE

BREAK ALL SHARP CORNERS UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
ONCE DESIGN IS APPROVED ALL PRINT CHANGES MUST BE APPROVED AND DOCUMENTED
DO NOT SCALE

REV	DESCRIPTION	MADE BY	TRACK NO	DATE
A	RELEASED	MICHAL		5/3/20



254

TOP OF BLADE

T9,21

S1798_00 C
Nuz C

35°
15°
20°

410.3

TVAROVÉ PLOCHY OBRÁBĚT DLE dxf DAT

DETAIL	QTY	DESCRIPTION / STOCK SIZE	MATL
-	10	420 x 254 x 9,21	AISI M2



SHAPE CORP. CZECH REPUBLIC
PODNIKATELSKÁ 1183/41
301 00 PLZEŇ, CZECH REPUBLIC

DESCRIPTION: TESTING BLADE P13A, P33B, B12P Type C

SHAPE IDENTIFICATION NUMBER: -	DRAWING SIZE: A3	DRAWING SCALE: 1:2
-----------------------------------	---------------------	-----------------------

SUPPLIER: -	SHAPE ASSET NUMBER: -
----------------	--------------------------

DRAWN BY: Michal	DATE: 3.3.2020	REVIEWED BY:	DATE: 5.3.2020
---------------------	-------------------	--------------	-------------------

CAD FILE NAME: -	SHEET: 1 OF 1	DRAWING NUMBER: S1798_00 C
---------------------	------------------	-------------------------------

MM [INCH]

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED FOLLOW THE NORM:
ČSN ISO 2768-1

FIRST ANGLE

BREAK ALL SHARP CORNERS
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
ONCE DESIGN IS APPROVED
ALL PRINT CHANGES MUST
BE APPROVED
AND DOCUMENTED
DO NOT SCALE