



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA ČÁSTI ODPADNÍ DRÁHY TISKAŘSKÉHO STROJE

PRODUCTION OF A PRINTING MACHINE WASTE TRACK

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Dolák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Řiháček, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Martin Dolák
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce:	Ing. Jan Řiháček, Ph.D.
Akademický rok:	2017/18

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

Výroba části odpadní dráhy tiskařského stroje

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jená se o výrobu dílce úchyty odpadního kanálu pro odstřížky v tiskařském stroji.

Zadaná součást bude vyráběna s využitím technologií stříhání a ohýbání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární rešerše i výpočty potřebné pro návrh a kontrolu nástroje.

Cíle diplomové práce:

- teoretický rozbor problematiky,
- zhodnocení možností výroby,
- návrh vhodné technologie a provedení technologických a kontrolních výpočtů,
- návrh nástroje společně s vyhotovením výkresů vybraných dílů.

Seznam doporučené literatury:

ASM INTERNATIONAL. Metals handbook volume 14: Forming and forging. 9th ed. Metals Park, Ohio: American Society for Metals, 1988. ISBN 978-0-871-70020-9.

DVOŘÁK, M., F. GAJDOŠ a K. NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

FOREJT, M. a M. PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

HOSFORD, W. F. a R. M. CADDELL. Metal forming: mechanics and metallurgy. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. 331 s. ISBN 978-1-107-00452-8.

MARCINIÁK, Z., J. L. DUNCAN a S. J. HU. Mechanics of Sheet Metal Forming. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Řešenou součástí je část kanálu pro odpadové odštržky tiskařského stroje. Relativně jednoduchá součást vhodná k výrobě tvářením za studena. Diplomová práce navrhuje zhotovení komponenty lisováním. Po shrnutí základních teorií dále navrhuje varianty výroby. Pro vybranou sestavuje technologický postup a navrhuje kroky tváření. Návazně odvozuje návrh konstrukce postupového nástroje. V neposlední řadě se věnuje ekonomickému vyhodnocení výroby, ročnímu výrobnímu množství a vypočítává bod zvratu pro dané řešení.

Klíčová slova

tváření, lisování, postupový nástroj, technologie

ABSTRACT

This thesis covers production of Waste Channel Modul, which is part of printing machine. Relatively simple component is perfectly suitable to be produced using cold forming. Pressing is the method suggested by thesis. Summing up basic theoretical knowledge, offering couple of variants ends up into selection of one of these. Manufacturing process is defined as well as steps of progressive forming. Based on that Progressive die is designed. Finally, economical evaluation is created calculating break-even point of this solution.

Key words

forming, pressing, progressive die, technology

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DOLÁK, M. Výroba části odpadní dráhy tiskařského stroje. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 61 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Řiháček, Ph.D..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Výroba části odpadní dráhy tiskařského stroje** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu použité literatury.

Ve Šternberku dne 24.5.2018

Bc. Martin Dolák

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu své diplomové práce panu Ing. Janu Řiháčkovi, Ph.D. za velmi cenné a adresné rady ke zpracování mé práce. Dále pak svým blízkým za jejich podporu.

OBSAH

ABSTRAKT	4
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	4
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ	10
1.1 Materiál	10
1.2 Rozměry a geometrie	10
1.3 Možnosti dalšího vývoje výroby	10
2 STROJÍRENSKÁ VÝROBA	13
2.1 Tváření	14
2.2 Deformace	14
2.3 Materiály vhodné ke tváření	16
2.4 Stříhání a dělení materiálů	17
2.4.1 Stříhání	17
2.4.2 Jiné formy dělení materiálů	21
2.5 Ohýbání	22
2.6 Postupové nástroje	27
2.6.1 Stříhání v postupovém nástroji	29
2.6.2 Nástřihové plány	31
2.6.3 Ohýbání v postupovém nástroji	31
2.6.4 Technologické faktory tváření v postupových nástrojích	32
3 EKONOMICKÉ FAKTORY	33
3.1 Náklady	33
3.2 Kalkulace	34
3.3 Bod zvratu	35
3.4 Výrobní dávka	36
3.5 Rozvržení využití materiálu	37
4 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	38
4.1 Technologický postup	38
4.2 Výpočet rozměrů rozvinutého tvaru	38
4.3 Volba nástřihového plánu	40
4.4 Návrh kroků postupového lisování	41
4.5 Výpočet sil	42
4.6 Výpočet polohy těžiště	43

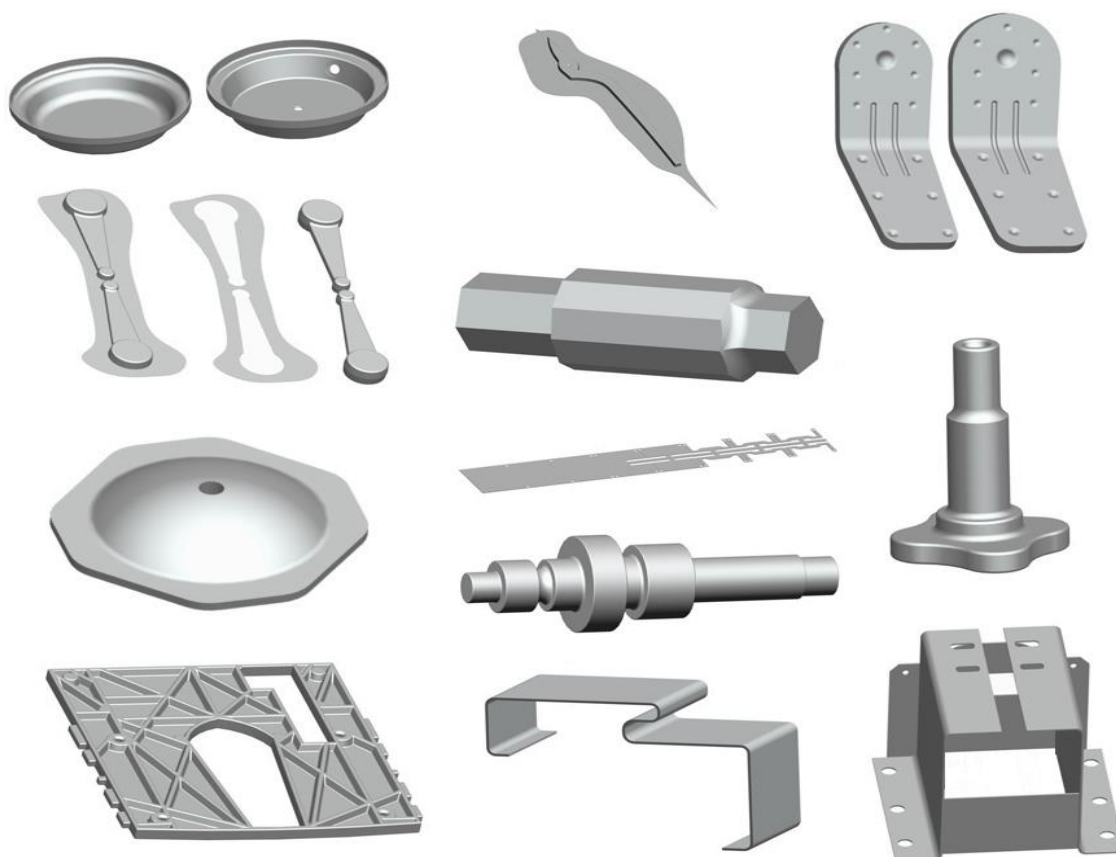
4.7 Výpočet rozměrů funkčních částí nástroje.....	44
5 NÁVRH KONSTRUKCE NÁSTROJE	47
5.1 Základová, upínací a kotevní deska	47
5.2 Vodící deska a stírací deska.....	47
5.3 Střížníky a střížnice	47
5.4 Ohybníky a ohybnice	48
5.5 Zdvih nástroje	48
5.6 Vodící lišty, dorazy a hledáčky, vyhazovače.....	48
6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	50
6.1 Rozvržení a využití materiálu	50
6.2 Výpočet nákladů a kalkulace	51
6.3 Výpočet bodu zvratu	52
ZÁVĚR	53
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	54
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	56
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	60
SEZNAM TABULEK	60
SEZNAM VÝKRESŮ	61

ÚVOD

Tiskařský průmysl se může pyšnit bohatou historií v řádu tisíců let. Za novodobé počátky lze označit Gutenbergův vynález knihtisku v 15. století našeho letopočtu. Stroje, které v tomto průmyslu dnes fungují, tedy prošly mnohaletým vývojem. Nejvíce se však přiblížily k dnešní podobě v průběhu 20. století. Navzdory digitalizaci stále existuje množství využití, kde náhrada výtisku za elektronické médium není možná nebo přinejmenším nemá legislativní podklad. Stroje jsou smontovanými celky, které v sobě mísí mechanické i elektrické součásti, doplněné o obslužný systém. Z pohledu strojírenské výroby jsou hojně využity svarky, obrobky i tvářené díly. Důležitými komponenty jsou, krom kovových dílů, součásti plastové či gumové. [19, 29]

K výrobě mechanických částí jsou tedy používány různé strojírenské technologie, mezi které patří i tváření. Tato metoda umožňuje přeměnu polotovarů na komponenty různých rozměrů a tvarů relativně hospodárnou cestou. Objemové tváření zpracovává materiál způsobem, kdy výsledný produkt má objem totožný vstupního polotovaru. Zatímco tváření plošné způsobuje změnu tvaru součásti bez výrazného rozdílu plochy zpracovávaného materiálu v porovnání s výtvarkem. Typickými produkty zmíněných technologií jsou výkovky, výtažky, výstřižky i tvarové součásti (obr. 1).

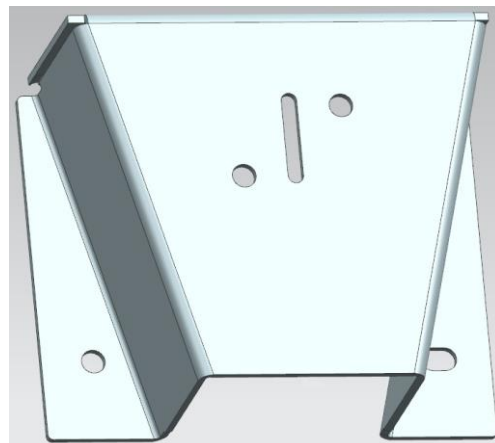
Mezi velmi často používané tvářecí technologie patří stříhání a ohýbání v různých formách a podobách. Zpracovávají se plechy, trubky či profily. Stříhání i ohýbání mohou zajistit výrobu v kombinaci s dalšími technologiemi a nebo je komponenta či hotový výrobek přímým výstupem tohoto procesu.



Obr. 1 Různé součásti zhotovené tvářením. [9]

1 ROZBOR ZADÁNÍ

Již bylo nastíněno, že práce se bude týkat komponentu tiskařského stroje. Součást (viz obrázek 2) se jmenuje *Waste Channel Modul* a nese označení *HG-25.9856-300*. Autorem je německá firma zabývající se výrobou strojů pro velkoobjemový i maloobjemový tisk. V tomto případě jde o tiskařský stroj určený pro střední a větší firmy, tisknoucí řádově několik stovek až tisíců listů denně. Odpadem z těchto strojů jsou výstřižky papíru, jelikož je vybaven vystřihovacím zařízením pro přípravu listů k vazbě.



Obr. 2 3D model řešené součásti.

1.1 Materiál

Dle technického výkresu je součást z plechu o tloušťce 1,5 mm válcovaného za studena dle normy ČSN EN ISO 9445. Materiálové složení a vlastnosti se pak odvolávají na normu DIN 1.4301 (X5CrNi18-10), tedy ČSN 41 7240, hlavní parametry jsou v tabulce č.1. Jedná se o legovanou konstrukční ocel. Je austenitickou chrom niklovou korozivzdornou nemagnetickou ocelí. Velmi dobře odolává ve venkovním prostředí, není-li velmi znečištěno, pitné vodě, některým organickým kyselinám, a zvláště pak produktům potravinářského průmyslu (pivo, mléčné výrobky, ovocné šťávy apod.). Pro své časté použití je též ve strojírenském oboru známá jako *potravinářská ocel*. [7, 8, 14, 15, 21, 23, 30]

Tab. 1 Základní vlastnosti a složení materiálu. [20, 29]

Materiál	Mez pevnosti Rm [MPa]	Tažnost A [%]	Koncentrace hlavních chemických prvků [%]			
			C (max)	Cr	Mn (max)	Ni
DIN 1.4301	540 – 750	45	0,05	17,5 – 19,5	2	8 – 10,5

1.2 Rozměry a geometrie

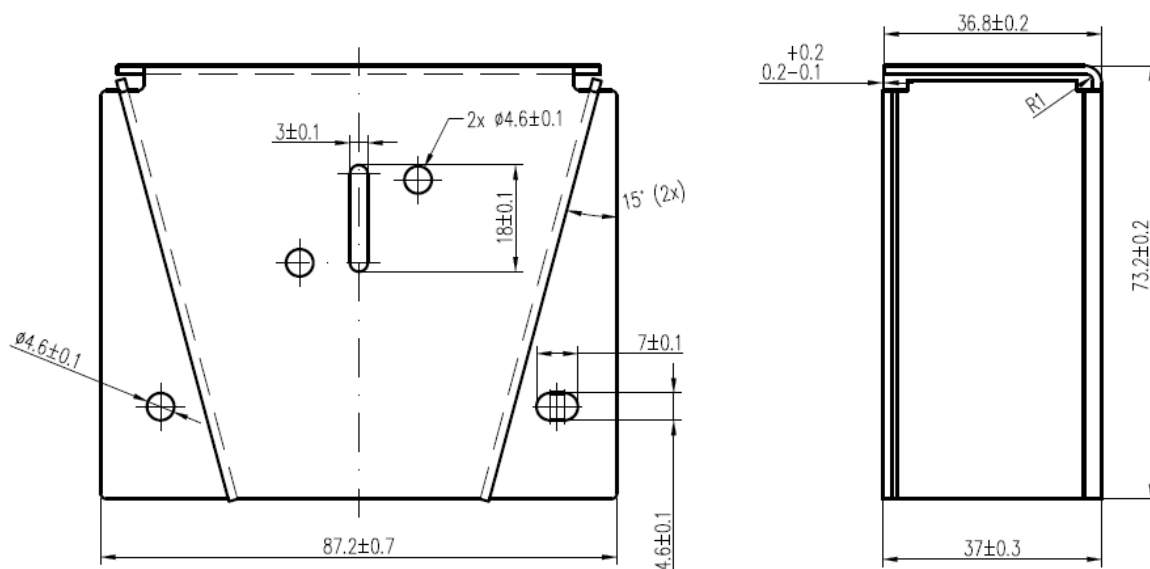
Již podle materiálu a tvaru součásti je zjevné, že konstruktér uvažoval o výrobě tvářením. Geometrická koncepce dává součásti tvar polouzavřené krabice. Je na ni několik montážních otvorů. Dva otvory (kruhový a oválný) na ploše sloužící pro připevnění ke kostře stroje a další dva kruhové na vyvýšené ploše pro montáž senzoru. Mezi nimi je největší oválný otvor pro průhled optického senzoru. Takto byla součást navržena před několika lety a dodnes nepodstoupila významnou úpravu. Přední a boční pohled součásti lze vidět na obrázku číslo 3, včetně základních vnějších rozměrů, otvorů a tvaru. Všechny ostatní rozměry, které byly z těchto nákresů pro přehlednost odmazány, jsou k nahlédnutí ve výkresu součásti.

1.3 Možnosti dalšího vývoje výroby

Výrobu součásti lze provést několika způsoby. V podstatě není pádný důvod pro využití technologií jiných než tvářecích. S ohledem na tvar součásti se nabízí využití řezání či stříhání a různých ohýbacích metod. Oddělení materiálu lze v tomto případě provést například řezáním laserem či vodním paprskem. Dále se nabízí možnost vystřihování lisem. Zajisté je možné navrhnout různé smysluplné metody a jejich kombinace, níže jsou zmíněny alespoň některé z nejzásadnějších.

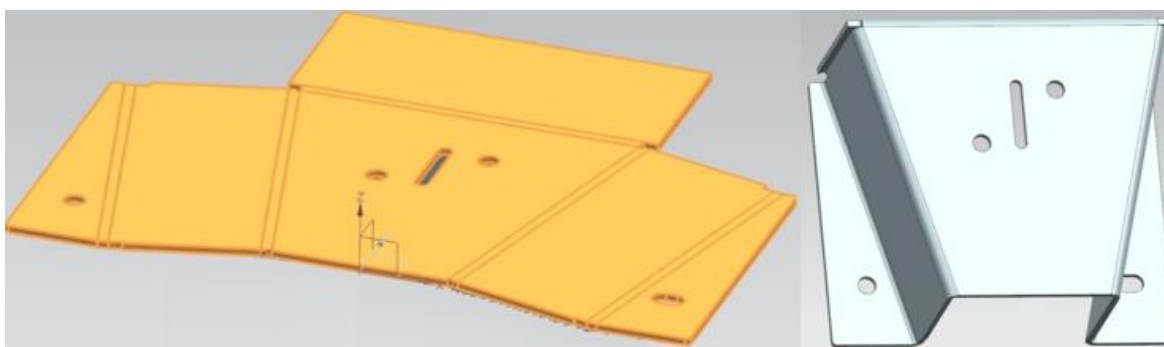
Varianta 1: Plechová tabule se zpracuje ve stroji kombinujícím řezání laserovým paprskem a vystřihování lisovacím nástrojem. Takto připravené polotovary se pak po jednom kusu postupně dokončí na ohráňovacím lisu (postupně 5 nezávislých V ohybů). Na dvou strojích tedy dojde k výrobě hotového dílu (viz obrázek 4), což znamená úsporu z pohledu

výrobních i mezioperačních časů, stejně jako snížení výrobních nákladů oproti zpracování na více jednotlivých pracovištích. Výrobní náklady spojené se zpracováním na stroji kombinujícím řezání a lisování jsou zpravidla vyšší než u stroje, který slouží pouze k jedné z těchto činností. Výhodou však zůstává úspora času při procesu v takovém stroji. Nevýhodou je nutnost zajištění výroby speciálních nástrojů do ohraňovacího lisu na míru této součásti – zejména ohybníku. Takový by měl být na svých koncích odlehčen, aby nekolidoval s již existujícími rameny mezi ohyby, které vůči sobě svírají úhel 75° .



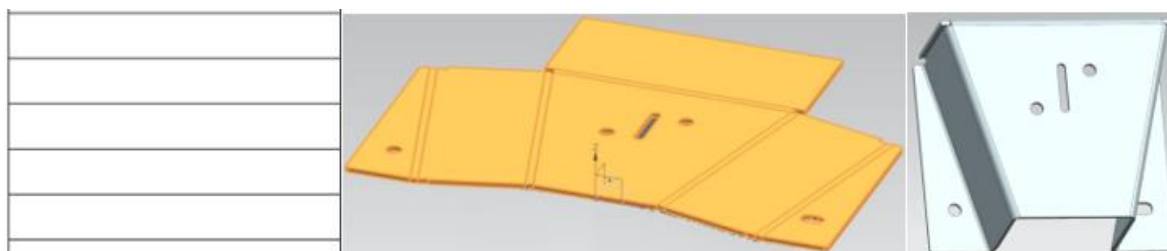
Obr. 3 Základní rozměry zpracovávané součásti.

Varianta 2: Plechová tabule se rozdělí na pásy. Tyto se zpracují v postupovém nástroji na lisu, který zajistí vystřížení plochého polotovaru pro konečnou úpravu na ohraňovacím lisu (viz obrázek 5). Zpracování proběhne postupně na třech pracovištích, což přidává krom výrobních časů, rozdílných nákladů ještě přípočet manipulačních časů a nákladů pro další pohyb mezi pracovišti. Zároveň jsou však zachovány všechny nevýhody první možnosti. Žádné další výhody z této varianty neplynou.



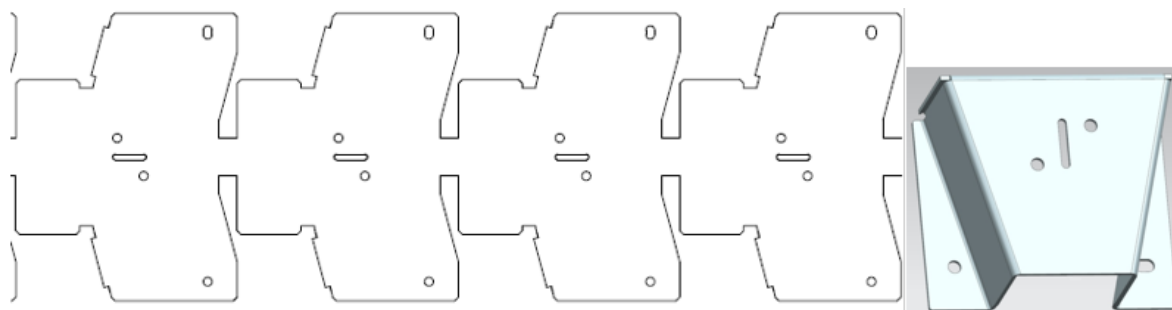
Obr. 4 Varianta 1 – zleva výstup z prvního a druhého stroje.

Varianta 3: Z plechové tabule se laserovým paprskem vyřezou takové pásy plechu, na kterých budou seřazeny rozvinuté tvary součásti, připravené ke zpracování v postupovém nástroji. V něm se pak zhotoví všechny ohyby a na závěr dojde k odstřížení jednotlivých kusů z pásu (viz obrázek 6). V několika krocích tak vznikne hotová součást při využití dvou strojů.



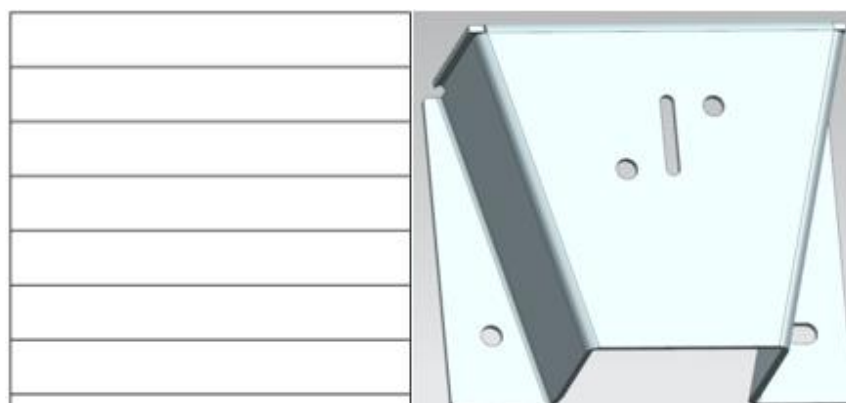
Obr. 5 Varianta 2 – zleva výstup z prvního, druhého a třetího stroje.

Varianta 4 – Plechová tabule se rozdělí na pásy, které se následně zpracují v postupovém sruženém nástroji na lisu. Tento bude zajišťovat vystřížení všech kontur a děr, stejně jako ohnutí hran a závěrečné odštížení jednotlivých kusů z pásu (viz obrázek 7). V několika krocích tak vznikne hotová součást při využití dvou strojů.



Obr. 6 Varianta 3 – zleva výstup z prvního a druhého stroje.

Z uvedených čtyř možností tedy nejzajímavěji vyhlíží třetí či čtvrté řešení, které počítají s využitím existujících strojů, avšak výrobou postupového nástroje, pomocí něhož dojde k výrobě hotové součásti z předřezané řady rozvinutých tvarů (varianta 3) nebo z přístříhu plechu (varianta 4). Práce se dále bude soustředit na poslední z navržených možností.



Obr. 7 Varianta 4 – zleva výstup z prvního a druhého stroje.

2 STROJÍRENSKÁ VÝROBA

Již po staletí zaujímá strojírenská výroba v různých podobách, úrovních mechanizace, v moderní éře automatizace, ba dokonce digitalizace, velmi důležité místo v životě lidském. Napomáhá velmi výrazně komfortu moderního člověka. Obecně vzato lze výrobu rozdělit podle typu zpracování. Podle Altana a Tekkaye, je jedním z těchto dělení, seskupení procesů do 5 kategorií:

- primárně tvarovací procesy,
- tváření,
- odebírání materiálu,
- zpracování materiálů,
- spojování.

Bližším pohledem se mezi primární tvarovací procesy řadí slévárenské technologie (gravitační, za zvýšeného tlaku, ve vakuu; do netrvalých či trvalých forem), tavné protlačování, a slinování. Účelem je zajištění primární geometrie, tedy výroba polotovaru ke zpracování návaznými procesy. [1, 10, 11]

Do skupiny tváření pak zahrnují tito autoři válcování, protlačování, kování (volné, zápusťkové), ohýbání, hluboké tažení, tedy technologie, kde dochází k plastické deformaci bez porušení struktury materiálu. Tato kategorie je přiblížena v následující podkapitole. [1, 10, 11]

Mezi procesy odebírání materiálu pak řadí soustružení, frézování, vrtání, řezání pilou a elektroerozivní obrábění. V podstatě jde o obrábění v užším technickém významu. [1, 11]

Co se týče zpracování materiálu, zde jsou zahrnuty veškeré technologie, které upravují vlastnosti materiálu, a to z pohledu vnitřní struktury, stejně jako vnějšího povrchu. Nejedná se tedy o procesy měnící geometrii. Zahrnout sem lze povrchové úpravy jako pokovení, eloxování nebo či metody upravující strukturu materiálu – vytvrzování, žihání a podobně. [1]

Poslední kategorie v sobě slučuje všechny technologie spojování materiálů či tvorbu sestav. Konkrétně procesy na metalurgické bázi jako svařování, pájení, či mechanické spojování jako nýtování a nebo montáž. [1]

Dalšími důležitými faktory jsou základní parametry produktu (myšleno v širším smyslu, tedy i komponenty či polotovaru) strojírenské výroby. Geometrie, tolerance, výrobní dávka a v posledních dekádách stále intenzivněji zvažované dopady na životní prostředí. [1]

Existuje několik pohledů na zmíněné faktory. Ne všechny mají stejný výstup. Například pohled zákazníka, pro kterého je nejdůležitější, aby zboží plnilo funkci, za jejíž účelem jej pořizuje, bude mít jiné dopady na konstrukci výrobku a jeho částí než potřeby technologické či environmentální či bezpečnostní. Přihlédnutím ke geometrii a tolerančním třídám použitým při konstrukci součástí, budou voleny technologie produkce a od toho se odvíjející technologický postup. [1]

Velmi důležitým faktorem je hledisko dopadu na životní prostředí. V tomto století již nelze opomíjet škodlivost některých látek, nevratnost vzácných zdrojů a celkově poměr hodnoty výstupu procesu vůči spotřebovaným vstupům. Stejně jako energetická náročnost a také způsob výroby dané energie negativně ovlivňuje dojem z výrobku. [1]

2.1 Tváření

V dnešní době se ve strojírenství používá velké množství různých tvářecích technologií. V dnešní době se ve strojírenství používá velké množství různých tvářecích technologií. Jedná se o procesy založené na deformaci materiálu, účinně využívající plastickou fázi této přeměny. Definice tváření podle docenta Dvořáka říká: „technologie tváření kovů a slitin představuje výrobní proces, při němž dostávají polotovary pro zpracování konkrétní navržený tvar za působení vnějších sil bez porušení materiálu.“ [11] Využití těchto metod výroby, které úspěšně aplikují různé odvětví průmyslu, jako třeba automobilový a letecký, potřebuje zpravidla komplexní stroje a s tím spojené odpovídající nářadí a nástroje. Ačkoli je tváření dostupné již řadu desítek let, tyto technologie prochází neustálým vývojem. I s pomocí vývoje dalších výrobních metod, jsou nadále inovovány a rozšiřovány. Cílem je zajistit co největší efektivitu, ekonomičnost, či možnosti a přesnosti přeměny materiálu. Protikladem k těmto faktům jsou technologie, které se prakticky v nezměněné podobě používají celou řadu let a předpokládá se jejich aplikace i v budoucnu. [3, 10, 11, 13]

Tvářením lze zhotovit výrobky rozmanitých tvarů i rozměrů a zpravidla se využívá při hromadné a sériové výrobě. Stejně tak se tyto technologie používají k výrobě polotovarů pro zpracování dalšími technologiemi. V obecném smyslu můžeme tváření zařadit mezi metody obrábění, konkrétně beztržskového. Působením vnějších sil (tlak, tah, ad.) dochází k přeměně vstupního materiálu na výstupní výrobek (polotovar, komponentu) aniž dojde k porušení materiálu. [3, 13]

Procesy tváření lze rozdělit podle 3 kritérií – teploty, tepelného efektu a dosaženého stupně deformace. Základním způsobem se tváření dělí na plošné a objemové. Za plošné lze označit takové tváření, při kterém nedochází vlivem působení sil k významné změně průřezu či plochy materiálu. Do této kategorie spadá stříhání a jeho varianty, při kterém na rozdíl od ostatních tvářecích procesů cíleně dochází k přerušení materiálu. Dále pak se zde řadí ohýbání, profilování, lemování, zakružování, stáčení, tažení, vypínání, kovotlačení, protahování, přetahování, rovnání, vypínání, vypínání profilů, radiální vypínání, ad. [3, 11, 13, 31]

Oproti tomu u objemového tváření je typickou charakteristikou shoda objemu vstupního materiálu s výstupem z tohoto technologického procesu. Rozdílem je teplota, za které přetvoření probíhá, zatímco u tváření za tepla se materiál zpracovává nad rekrytalizační teplotou, u procesu za studena dochází k formování pod touto teplotou. Mezi technologie tváření za tepla se řadí volné a zápusťkové kování, zatímco za studena probíhá ražení, pěchování, protlačování apod. [3, 11, 13, 31]

2.2 Deformace

Struktura kovů, jakožto krystalických látek, je tvořena prostorovou krystalickou atomovou mřížkou. Kovy vesměs krystalizují v krychlové či hexagonální soustavě. Dokonalá struktura zpravidla neexistuje, mluví se o poruchách mřížky – dislokacích. Ty jsou zásadní pro trvalou deformaci materiálů. Pro porozumění přetvoření materiálu je dále nezbytné pochopení základních pravidel deformace. Ta probíhá typicky ve dvou fázích, první z nich je elastická, při dalším zatížení následuje fáze plastická. Navzájem se od sebe zásadně liší. Plasticita se vyznačuje trvalou přeměnou materiálu bez porušení krystalické mřížky. Kdežto elasticita je vlastností, kdy po odlehčení zatíženého materiálu dojde k návratu do původního tvaru – nejedná se tedy o přeměnu trvalou, nýbrž dočasnou, trvající po dobu zatížení. [3, 13, 24]

Elastická fáze přetvoření je definována Hookovým zákonem, který popisuje vztah mezi namáháním materiálu a v něm vznikajícím napětí pomocí přímé úměry. U většiny kovových materiálů se vyskytuje. Vždy však v počáteční fázi vnějšího zatěžování. Končí na úrovni mezi kluzu *Re*. Lze obecně říci, že tato fáze není žádoucí pro proces tváření, nicméně vzhledem

k jejímu výskytu, je nutné s ní počítat a celý proces tomu uzpůsobit. Zanedbání elastické deformace by vedlo s velkou pravděpodobností ke vzniku neshodného výrobku vůči záměrům konstrukce, není-li tolerance tvaru dostatečně široká, aby tento jev kompenzovala. [3, 13, 24]

Tváření, které má za následek plastickou deformaci v materiálu, vyvolává pohyb dislokací – kluz a dvojčatění. Prvně jmenovaný jev vzniká na krystalografických rovinách s nejhustším uspořádáním atomů. Naopak malé deformace jsou zpravidla typické pro dvojčatění. Jedná se o pochod, kdy se původní krystalická struktura zrcadlí podle roviny dvojčatění za vzniku oblasti zpevnění. [3, 4, 5, 13, 24, 26]

S projevy deformace jsou úzce spojeny základní zákony tváření:

- zachování objemu,
- nejmenšího odporu,
- podobnosti,
- přídavných napětí a nerovnoměrnosti deformace,
- stálosti potenciální energie změny tvaru,
- tření,
- odpružení po trvalé změně tvaru (po odtížení).

První zákon je založen na teorii nestlačitelnosti kovů. Ve zkratce lze říci, že objemy zpracovávaného polotovaru a výtvarku, jsou si rovny. Lze jej popsat následujícími rovnicemi, kde index 0 znamená původní rozměr, 1 pak hodnotu po tváření a písmeny a , b , e označují hrany obecného prizmatu, na kterém je zákon prezentován. [3, 10, 11, 13]

$$a_0 \cdot b_0 \cdot e_0 = a_1 \cdot b_1 \cdot e_1 \quad (2.1)$$

Z této základní rovnice úpravou a následným logaritmováním vznikne:

$$\ln \frac{a_1}{a_0} + \ln \frac{b_1}{b_0} + \ln \frac{e_1}{e_0} = 0 \quad (2.2)$$

Rovnici lze dále přepsat jako součet logaritmických neboli skutečných deformací φ_i .

$$\varphi_a + \varphi_b + \varphi_e = 0 \quad (2.3)$$

Analogicky je popsán součet deformací v hlavních osách ε .

$$\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = 0 \quad (2.4)$$

Zákon nejmenšího odporu předpokládá, že se každý bod tvářeného tělesa bude pohybovat právě tím směrem, ve kterém překonává nejmenší odpor. Proto se velmi často uplatňuje při konstrukci a výrobě tvářecích nástrojů. [10, 11, 13, 24]

Zákon podobnosti umožňuje popsat tvářecí pochody v reálném procesu pomocí podobností s modelovými situacemi za splnění tří základních podobnostních pravidel – fyzikálního, mechanického a geometrického. [10, 11, 13]

Zákon přídavných napětí a nerovnoměrnost deformace popisuje napětí a deformace při tvářecím procesu, které vznikají vlivem nehomogenity materiálu (vlastností chemických, fyzikálních i mechanických). Stejně jako vlivem neidentických podmínek v různých částech zpracovávaného materiálu, např. styčné plochy materiálu s nástrojem ovlivňuje tření. [10, 11, 13]

Zákon stálosti potenciální energie vyjadřuje, že velikost měrné potenciální energie potřebné na trvalou změnu tvaru tělesa má pro dané podmínky tváření konstantní hodnotu, jež není závislá na stavu napjatosti. [13]

Zákon třetí uvažuje třecí síly jako sekundární projev tváření a dělí je na aktivní a pasivní. Spoluurčují velikost primárních pracovních sil. Dále je lze možno rozdělit na několik druhů dle přítomnosti mazadla – suché, mezní, hydrodynamické a smíšené. [13]

Posledně zmíněný zákon popisuje ve své podstatě princip elastické deformace, která byla popsána v druhém odstavci této podkapitoly. [13]

Vznik plastické deformace vlivem dislokací, má za následek vznik zpevnění u procesů za studena, tedy pod rekrytalizační teplotou zpracovávaného materiálu. Jeho příčinou je jakési zahuštění dislokací, které se navzájem blokují v pohybu. Důsledkem zpevnění dochází ke zvýšení meze kluzu, pevnosti i tvrdosti materiálu, naopak klesá tažnost. Při tváření za studena dojde k natočení kluzných rovin ve směru působení sil a prodloužení zrn, výsledně zanikání původního uspořádání rovin mřížky. Vzniká krystalová orientace ve směru působení sil. Souběžným působením dvou zmíněných faktorů se tvoří textura. Materiálové vlastnosti se díky ní v různých místech liší, jde o anizotropii materiálu. Typickým příkladem procesu, kdy dochází k orientované anizotropii materiálu, je válcování plechů za studena. Polotovary vzniklé touto technologií mají jiné mechanické vlastnosti ve směru válcování a napříč. S tímto faktem je nezbytné počítat při zpracování plechů návaznými výrobními procesy. [3, 10, 11, 13, 27]

Deformace se klasifikuje i kvantifikuje. Na výše zmíněné vzorce i pojmy lze navázat doplněním například o absolutní deformaci Δl . Díky níž je možno vyjádřit její vztah s poměrnou deformací ε , dále logaritmickou deformaci a popsat stlačování (vzorec 2.8) a prodloužení (viz 2.9). [10, 11, 13, 27]

$$\Delta l = l_0 - l_1 \text{ [mm]} \quad (2.5)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \text{ [-]} \quad (2.6)$$

$$\varphi = \ln \frac{l_1}{l_0} \text{ [-]} \quad (2.7)$$

$$\varphi = \ln \frac{1}{1-\varepsilon} \text{ [-]} \quad (2.8)$$

$$\varphi = \ln(1 + \varepsilon) \text{ [-]} \quad (2.9)$$

Speciální formou deformace je pak tzv. superplasticita. Jedná se o schopnost některých materiálů dosahovat řádově vyšších přetvoření bez porušení materiálu při nízkém přetvárném odporu. Často se používá při letecké výrobě některých slitin hliníku a titanu. Rozlišují se 2 typy superplasticity – způsobená vnějšími podmínkami (I typ) a strukturou materiálu (II typ). [13]

2.3 Materiály vhodné ke tváření

„Tvařitelnost kovů a slitin je schopnost trvale měnit tvar bez porušení tvářeného tělesa v konkrétních technologických podmínkách.“ [13] Existuje několik faktorů, které ovlivňují tvařitelnost materiálu. Těmi nejzásadnějšími jsou chemické složení, mikrostruktura a textura materiálu. Fundamentální vlastností materiálu je pak plasticita. Na základě těchto vlastností lze materiály rozdělit do skupin. [9, 13, 14, 15]

Mezi velmi dobře tvářitelné kovy patří hlubokotažné oceli. Nízkouhlíkové hlubokotažné oceli, kromě uhlíku, obsahují celou řadu dalších prvků (např. fosfor, křemík, mangan, aj.), do směsi vnikající zpravidla ze surového železa či ocelového odpadu při výrobě metalurgickým procesem. Typickými zástupci jsou oceli 11 301, 11 321, 11 325, 11 331, 11 343 ad., tedy oceli třídy 11. Dělí se dle složení na uklidněné a neuklidněné. Klíčem k rozlišení je obsah stopového množství stabilizačních prvků, jako hliník, titan, vanad, zirkon či niob. Uklidněné oceli v sobě nesou zpravidla setiny hmotnostního procenta zmíněných kovů. [9, 13, 14, 15]

Pro význam této akademické práce je nutno zmínit základní parametry týkající se zpracovávaného materiálu, tedy oceli třídy 17. Patří mezi konstrukční středně až vysokolegované, vyznačují se relativně vyššími hodnotami meze pevnosti a zejména odolnosti vůči korozi. Mezi vlastnosti oceli dle ČSN ISO 41 7042 patří obtížná svařitelnost, avšak dobrá obrobitelnost třískovými metodami. Naopak se velmi často zpracovává technologiemi tváření (stříhání, ohýbání, tažení), je lešitelná. Používá se pro součásti chemických a potravinářských strojů s požadavkem na velkou tvrdost (nože, ložiskové kroužky a kuličky, vložky a ventily, pracující v korozivním prostředí, kde dochází k jejich opotřebení. Dále se z ní vyrábí chirurgické nástroje, měřidla a kalibry. Dále pro externí konstrukce či ve vodárnách. Co se složení týče (viz tabulka 1) je vyhovující normě pro použití pro výrobky stýkající se s potravinami a pitnou vodou. [23, 26]

Další vlastností, jež hraje významnou roli pro tvářecí proces, je mikrostruktura. Jejními základními složkami jsou u těchto ocelí ferit a cementit. Za výrazné činitele ovlivňující mechanické vlastnosti materiálů se pak označují velikost zrna, rozložení a obsah vměstků. Z pohledu uspořádání, je nevýhodným cementit v řádcích. Rozdíl velikosti zrn by neměl přesáhnout 2 čísla. Velmi důležitým faktorem je tzv. mikročistota oceli, tedy koncentrace nekovových vměstků v materiálu. [9, 14, 15]

Mechanické vlastnosti ocelí válcovaných za studena jsou nejvíce ovlivněny obsahem uhlíku. Nežádoucími jsou hodnoty přesahující 0,07 hmotnostního procenta. V dnešní době lze běžně tvářet plechy s povrchovou úpravou, například pozinkované, pochromované či se stále obvyklejším povlakem plastické hmoty. [9, 14, 15]

„Pro zjištění tvářitelnosti materiálu se spíše než chemické rozborů, tahové zkoušky a zkoušky tvrdosti, osvědčily metody založené na simulaci reálných tvářecích procesů. Byly tedy vyvinuty zkoušky tváření podle Erichsena, kalíškovací zkoušky, zkouška tažením v kuželové tažnici a mnoho dalších.“ [9]

2.4 Stříhání a dělení materiálů

Tváření zpravidla začíná (a v některých případech i končí) potřebou oddělit části materiálu z původního polotovaru (např. plechové tabule). Existuje celá řada různých metod a variant oddělování materiálu, které obrábění v širším slova smyslu zahrnuje. Mezi nejčastěji používané metody dělení patří:

- řezání na pile,
- upichování na soustruhu,
- sekání v lisu,
- rozbrušování,
- řezání laserovým paprskem,
- řezání vodním paprskem,
- stříhání v nůžkách.

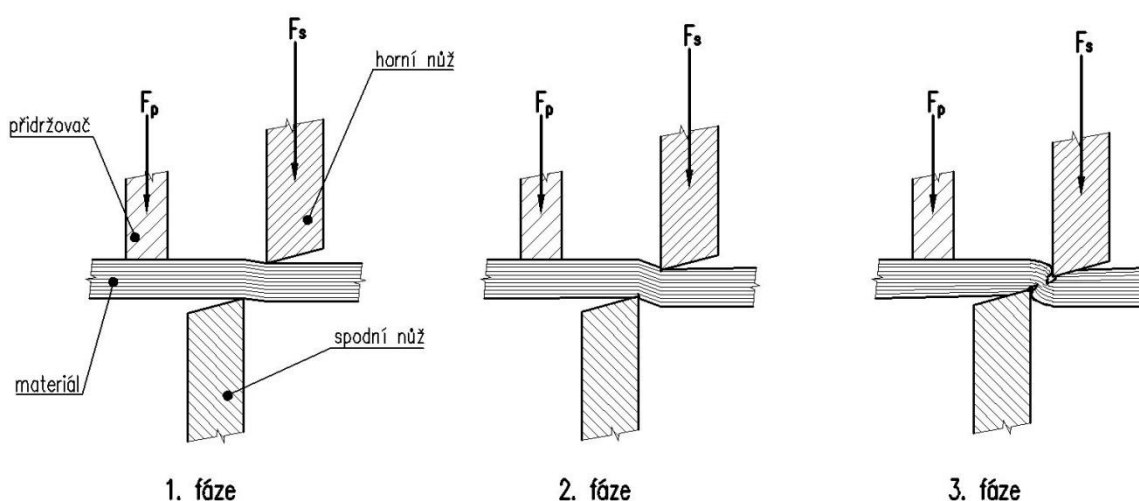
Mezi tvářecí technologie dělení materiálu se však ze zmíněných metod řadí pouze stříhání a sekání. [10, 11]

2.4.1 Stříhání

Jednou z nejrozšířenějších technologií zpracování plechu je stříhání. Na rozdíl od jiných tvářecích technologií, dochází k cílenému přerušování materiálu. Tento proces lze kategorizovat na základě zpracovávaného materiálu na objemové (např. tyče) či plošné (zejména plechy), za tepla či studena. Může být otevřené či uzavřené, v závislosti na typu rovinného obrazce, který na povrchu materiálu vznikne. Velmi důležitou klasifikaci pro pochopení procesu značí

dělené dle geometrie nástroje. Literatura hovoří zejména o nožích rovnoběžných, skloněných a kotoučových. [9, 11, 12]

Výstupem z procesu může být hotový výrobek či polotovár, který bude následně zpracován dalšími výrobními procesy. Stříh je způsoben vnikáním ostří dvou protilehlých nástrojů do materiálu, za účelem jeho oddělení. Výsledná trajektorie stříhu má tvar podobný písmenu S. Přerušeni tedy nevzniká v rovině identické s trajektorií nástroje, v konečné fázi dochází k odtržení materiálu. Esovitě zakřivení střížné plochy vzniká díky smykovému napětí, které způsobuje tlak nožů na plochách. Pomáhá k tomu elasticita i tvárnost materiálu, v podstatě jde o odpor, který materiál vytváří vnikající ostřím. Obecně se průběh stříhání dělí na 3 fáze (viz obrázek 8). [9, 11]



Obr. 8 Fáze stříhání (zobrazeno použití nátláčné hrany F_p). [9, 11]

„V první fázi dochází pouze k elastické deformaci, jejíž míra závisí na mechanických vlastnostech zpracovávaného materiálu. Zpravidla se jedná o oblast 5 – 8 % tloušťky stříhaného materiálu. Mez kluzu R_e materiálu není překročena, proto se v případě odlehčení vrátí do své původní podoby. Působením horního a spodního nástroje dochází ke tvorbě silových dvojic, které namáhají tvárny materiál ohybovým momentem. Důsledkem jsou pak charakteristické stopy na materiálu, kde dochází k zaoblení ze strany střížníku (vtažení) i střížnice (vytlačení). Druhá fáze stříhání je typická plastickou deformací, kdy překročením meze kluzu R_e materiálu (nikoli však meze pevnosti R_m) dochází k jeho nevratnému porušení. I zde je hloubka vniku ostří nástroje do materiálu přímo závislá na jeho mechanických vlastnostech, obecně se pohybuje v rozmezí 10 – 25 % tloušťky plechu.“ [9]

V závěrečné fázi dojde k úplnému přerušení materiálu (viz obrázek 9), jelikož je dosažena mez pevnosti R_m . K utržení dochází v místě, kde se v předchozí části procesu vytvořily trhliny. Došlo tak k dvojosé napjatosti, vyvolávající tahové namáhání materiálu a následné rozšiřování trhlín. Díky různým fázím vzniku střížné plochy je i její jakost rozmanitá v průběhu tloušťky materiálu. Na první pohled je zjevná různá drsnost povrchu, největší v místě utržení. Tato část je zároveň největší částí střížné plochy. Čím tvrdší a křehčí stříhaný polotovár je, tím větší prostor tato část zaujme. [9, 11, 12]

Zde je vhodné zmínit několik vybraných variant stříhání – prosté stříhání, děrování, vystřihování, prostřihování, vysekávání a v neposlední řadě přesné stříhání. Různé formy této technologie ovlivňují okamžitou střížnou sílu i práci v průběhu stříhu, a to zejména

kinematikou svého pohybu. Existují významné rozdíly při použití rovnoběžných, skloněných či kotoučových nožů. Geometrie nástroje má dopad na velikosti sil potřebných k přerušení materiálu. Základní vzorec 2.10 popisuje výpočet střížné síly použitím rovnoběžných nožů. [9, 11, 12]

$$F_s = \tau_s \cdot S_s \cdot n \text{ [N]} \quad (2.10)$$

$$\tau_s = 0,8 \cdot Rm \text{ [MPa]} \quad (2.11)$$

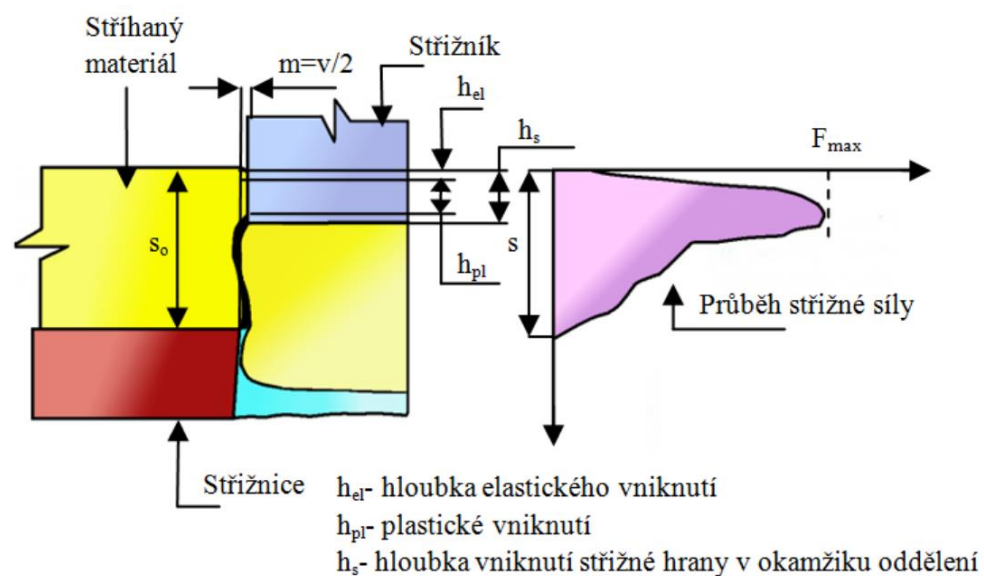
$$S_s = \pi \cdot D \cdot s \text{ [mm}^2\text{]} \quad (2.12)$$

kde S_s – střížná plocha kruhových děr,

n – součinitel otupení nože (dosahuje hodnot mezi 1,1 až 1,5). [9, 11, 12]

V průběhu stříhu se v praxi počítá s maximální střížnou silou F_{smax} , jež se určí navýšením F_s o 15 až 30 % (viz vzorec 2.13). Tímto krokem se zohlední jednak kombinace namáhání stříhem a ohybem, která reálně v materiálu vzniká. Tato úprava výpočtu zahrnuje i otupení nástrojů. Z výsledné síly se vypočte práce konaná nástroji. [9, 11, 12]

$$F_{smax} = (1,15 - 1,3) \cdot \tau_s \text{ [N]} \quad (2.13)$$



Obr. 9 Tvar stříhu a průběh síly. [19]

Pro stříhání skloněnými noži pak výpočet maximální teoretické střížné síly vychází z upraveného vzorce. Úhel sklonu nožů α dosahuje dle použité technologie $1,5^\circ$ (tabulové nůžky) či 7° až 20° u pákových nůžek. [11]

$$F_{smax} = \frac{1}{2} \frac{s^2}{\tan \alpha} \cdot F_s \text{ [N]} \quad (2.14)$$

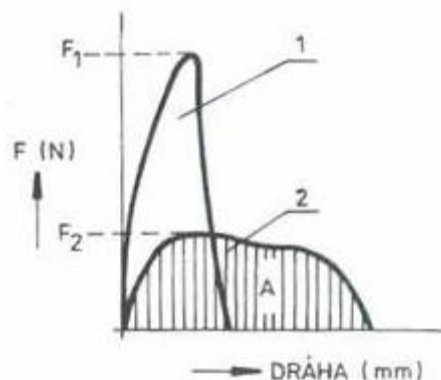
Po výpočtu maximální střížné síly lze vypočítat vykonanou práci.

$$A_s = \frac{\pi \cdot F_{smax} \cdot s \cdot \lambda}{2} \text{ [J]} \quad (2.15)$$

kde λ – součinitel plnosti.

Při použití skloněných nožů dojde ke snížení maximální střížné síly vlivem postupného vnikání do materiálu. Práce vykonaná při celém procesu však zůstává neměnná. Menší síla totiž působí na větší dráze (viz obrázek 10), F_2 je silou při použití nožů skloněných, F_1 při rovnoběžných). [9, 11, 12]

Dalším ze zásadních parametrů procesu je střížná vůle. V případě válcového střížníku i střížnice ji definuje rozdíl průměrů obou nástrojů v rovině jejich setkání, tedy vnitřní u střížnice a vnější u střížníku. Mezera, jakožto polovina vůle, naopak v případě zmíněných nástrojů, poukazuje na šířku mezikruží vzniklého mezi nimi. Základní parametry pro stanovení střížné vůle představují vlastnosti zpracovávaného materiálu, zejména jeho pevnost a tloušťka. [9, 11, 12]



Obr. 10 Průběh sil a vykonaná práce. [9, 10]

Obecně platí, že u měkkých ocelí se pohybuje zpravidla mezi 2,5 – 7,5 % tloušťky materiálu. Pro středně tvrdé oceli disponující mezi pevnosti okolo 480 MPa se zvyšuje na 3 – 8,5 % tloušťky. Největší vůle se používá pro oceli tvrdé, s mezí pevnosti 800 MPa a vyšší, kde může v praxi dosahovat až 10 % tloušťky materiálu. Velikost střížné vůle má zásadní význam pro správné provedení stříhu, efektivní využití střížných sil a také pro průběh vnitřních napětí v jednotlivých fázích procesu. V neposlední řadě ovlivňuje jakost povrchu střížné plochy a samozřejmě trvanlivost nástrojů (rychlost otupení). [11, 12]

Zvětšováním vůle dochází ke vzniku nerovného povrchu, zatímco se snižuje potřebná střížná síla. „Normálová napětí mají tahovou podobu, což napomáhá oddělování materiálu. Naopak menší vůle způsobuje zkvalitnění plochy stříhu. Je potřeba použití větší střížné síly, v materiálu tím vznikají tlaková napětí, která napomáhají udržet materiál v přímém kontaktu se střížníkem. Nevýhodou je však rychlejší otupení nástrojů.“ [9] Proto je výhodné optimalizovat střížnou mezeru, aby bylo dosaženo požadovaného poměru mezi jakostí střížné plochy a velikostí střížné síly potřebné k oddělení materiálu. [9, 11, 12]

$$v = 2 \cdot z \text{ [mm]} \quad (2.16)$$

Pro plechy s tloušťkou menší tří milimetrů střížná vůle vzejde z následujícího vzorce. [9]

$$v = 0,32 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{\tau} \text{ [mm]} \quad (2.17)$$

kde c – koeficient odvíjející se od typu stříhání (dosahuje hodnot 0,005 až 0,035). Velmi často se používá hodnota 0,01. U plechů větších tlouštěk se používá modifikovaný v následující podobě. [9]

$$v = 0,32 \cdot (1,5 \cdot c \cdot s - 0,0015) \cdot \tau \text{ [mm]} \quad (2.18)$$

Další velmi důležitou formou této výrobní technologie je přesné stříhání. „Pod pojmem technologie přesného stříhání se rozumí souhrn metod (variant) stříhání plechů a pásů ve stříhadlech, jimiž lze dosáhnout kvalitní, hladké střížné plochy kolmé k rovině plechu a rozměrové přesnosti vyrobených součástí v rozmezí IT6 až IT9.“ [10] Přesnějších tolerancí se dosahuje u plechů menších tlouštěk, zatímco u těch nad 6 mm se uvažuje s IT9. Principem přesného stříhání s nátlakovou hranou je využití prostorové napjatosti v plechu, díky které dojde

k rozšíření pásma plastického stříhu na celou tloušťku tvářeného materiálu. Lze také použít dodatečného dostřížení ze střížné plochy. [10, 11]

Metody přesného stříhání:

- s nátláčnou hranou,
- se zaoblenou střížnou hranou,
- přistříhování,
- stříhání se zkoseným přidržovačem.

Nátlačná hrana, umístěná mimo křivku stříhu, se postará o sevření plechu mezi přidržovač a střížnici v počáteční fázi stříhání. Díky tomu vznikne ona trojosá napjatost a tlak má za následek čistě plastický stříh. Mezi nevýhody této metody se řadí potřeba většího prostoru, tím pádem větších šířek pásů plechu a delších můstků, což má za následek větší množství odpadu, a tedy i spotřebu materiálu. Dále existují omezení tvarového charakteru a poměru mezi tloušťkou plechu a rozměrem stříhané součásti. Střížná vůle bývá přibližně 0,5%, což je desetina hodnoty pro běžné stříhání. Celková střížná síla F_C pro tento případ vznikne součtem třech sil. První z nich F_1 se spočítá dle vzorce 2.10. [10]

$$F_C = F_1 + F_2 + F_3 \text{ [N]} \quad (2.19)$$

$$F_2 = 4 \cdot Rm \cdot l_h \cdot h \text{ [N]} \quad (2.20)$$

$$F_3 = 0,2 \cdot F_1 \text{ [N]} \quad (2.21)$$

kde l_h – délka nátláčné hrany,
 h – výška nátláčné hrany.

Při použití vyhazovače je nutno započíst působení proti vyhazovací síle F_{vyh} , která se spočítá dle následujícího vzorce:

$$F_{vyh} = S_{sč} \cdot p \text{ [N]} \quad (2.22)$$

kde $S_{sč}$ – plocha součásti,
 p – měrný tlak (volí se zpravidla 30 MPa).

Pro vybrané materiály pak je specifikována vhodnost použití této technologie. Oceli třídy 11 jsou velmi vhodné, naopak u ocelí od třídy 12 je nutno počítat s opotřebením nástroje. [10]

Druhou možností je použití zaoblené střížné hrany, a to buď střížníku (děrování) nebo střížnice (vystříhování), ne však obou zároveň. Volí se rádius o velikosti 15 až 20% tloušťky stříhaného materiálu, u tvarově složitějších částí až 25%. Čím menší je mezera, tím větší je dopad zaoblení střížné hrany na jakost střížné plochy. Používá se pro měkkou ocel. [10]

Principem přistříhování je oddělení malého množství kovu (0,1 až 0,5 mm) ze střížné plochy, výsledkem čehož je velmi nízká drsnost povrchu a jeho výrazně lepší kolmost (Ra 0,4 až 1,6; kolmost 0,01 až 0,02 u tlouštěk do 4 mm). U plechů větších tlouštěk se může používat více přistříhovacích operací, u menších je to však výhradně jedna. Technologii lze použít pro složitější tvary i pro otevřené křivky stříhu. [10]

2.4.2 Jiné formy dělení materiálů

Získat potřebný tvar z polotovaru lze dalšími metodami. Za zmínku stojí například řezání laserovým paprskem. Jedná se o relativně moderní a velmi efektivní metodu dělení materiálu. Kromě kovů ji lze využít i pro nekovové materiály, například gumu, plast ba dokonce dřevo. Dělení probíhá úzkým přesným řezem v podstatě bez ostřin (tj. $\pm 0,1$ mm). „Dopadající fokusovaný svazek světelných paprsků o dané vlnové délce ohřívá materiál na teplotu tavení,

díky tomu se částečně odpařuje a zbytek je odnesen proudem plynů zpravidla směrem dolů.“ [9, 11]

Dochází ke vzniku řezu o šířce odpovídající přibližně průměru paprsku. Laserovou hlavu může unášet CNC stroj, který na základě programu, paprskem oběhne tvar součásti (polotovaru). Tato technologie již neslouží pouze k dělení materiálu plošného, ale dokáže fungovat v trojrozměrném prostoru. CNC stroj nesoucí laserovou hlavu pak obkrouží celý obvod součásti. Stejného principu se používá i v případě řezání vnitřních rozměrů. [9, 11]

„U oceli platí, že lze běžně zpracovávat plechy do tloušťky až 30 mm. Stejně tak je možno zpracovávat i tvarové profily. Pro řezání uhlíkových ocelí se používá kyslíku, čímž vzniká exotermická reakce, ne vzdálená té, objevující se při procesu řezání kyslíkem. U vysokolegovaných ocelí je plynovým médiem dusík. Pro zpracovávání plechů větších tlouštěk se používá plynů na bázi CO₂.“ [9]

Z dalších technologií dělení se nabízí řezání plazmovým paprskem. Ten, díky své vysoké teplotě natavuje materiál a odfukuje jej pryč ze spáry. Paprsek dosahuje teploty až 20 000 °C a rychlost jeho proudění 1000 až 2000 ms⁻¹. Původně se plasmovým paprskem řezaly vysoce legované oceli, postupně se však využití rozšířilo i na další typy. Existují 3 hlavní typy této technologie – plazma stabilizovaná plynem (Ar + H₂, N₂, Ar), plazma stabilizovaná stlačeným vzduchem a plazma stabilizovaná plynem (N₂) a vodou. [11]

Řezání vodním paprskem spoléhá na úzký paprsek vody, který je vypouštěn pod velmi vysokým tlakem. Používá se pro dělení měkčích materiálů – guma, sklolaminát a plasty. Přidáním abraziva do proudu vody je možno řezat i materiály pevnější, například keramiku, kámen, titan či ocel. Princip je založen na vstřikování paprsku přes malý otvor, čímž se koncentruje vysoká energie na úzký řez. Pumpa vytvoří tlak vody 420 MPa, kterou směřuje přes otvor o průměru 0,15 až 0,35 mm, čímž vzniká vysoký proud vody. Vzniklý řez bývá o 0,025 mm širší než vodní paprsek a tryska je udržována ve vzdálenosti 3,2 mm od polotovaru. Hlavní výhodou oproti řezání laserem či plazmovým paprskem je, že nevzniká tepelně ovlivněná vrstva na ploše řezu, jelikož teplota paprsku v místě opouštění trysky dosahuje 50°C, v řezu je pak ještě o něco nižší. Tato technologie však není vhodná pro křehké materiály (např. sklo), kdy dochází k jeho praskání. Naopak další z výhod je ekologická šetrnost (je-li jako abrazivo použit písek), užití jedné trysky pro různé materiály a jen výjimečná potřeba pro speciální upínací přípravek (zpravidla stačí pouze polotovar zatížit). [4]

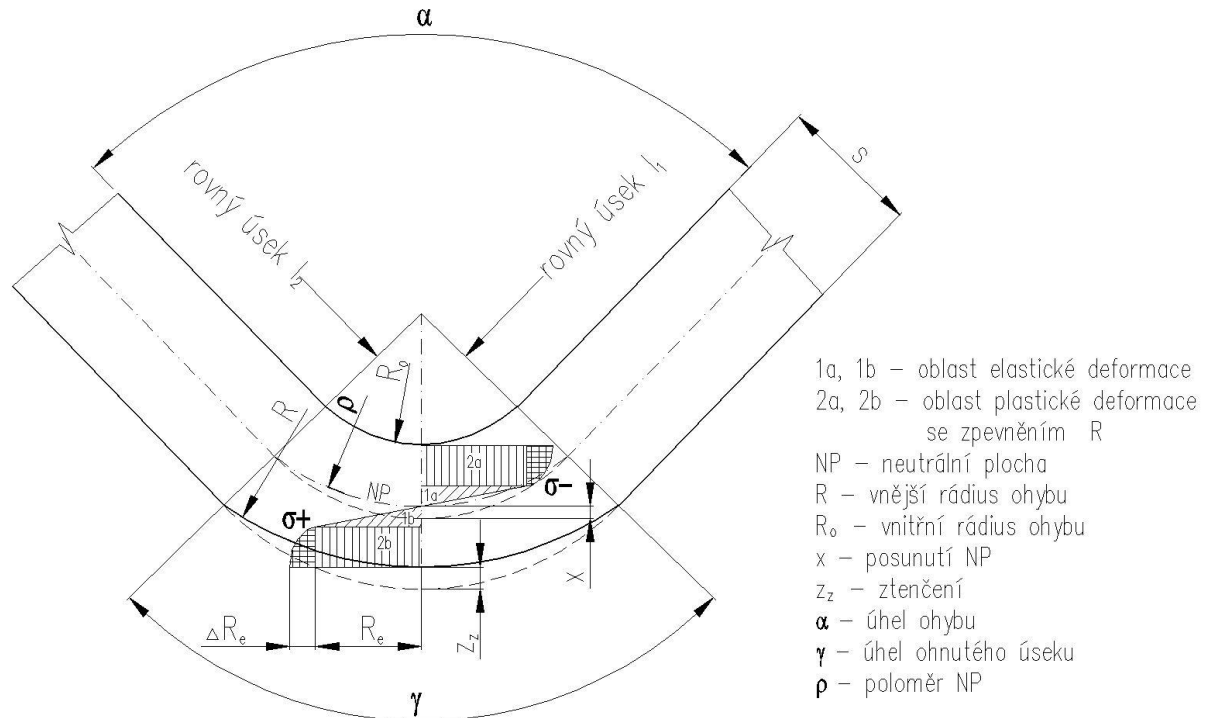
2.5 Ohýbání

Jedná se o tvářecí technologii, u které dochází k trvalé (plastické) deformaci materiálu bez porušení jeho krystalické struktury. Přetvoření je také doprovázeno elastickou fází, se kterou je třeba počítat, hovoří se o tak zvaném odpružení po odlehčení sil. Působením ohybového momentu vyvolaného ohýbací silou se materiál (např. tyč, trubka, plech) ohýbá nebo rovná bez výrazné změny plochy průřezu. Tento proces se tedy řadí mezi technologie plošného tváření. [9, 10, 11, 13]

Během ohýbání dochází v materiálu k posunu neutrální osy (plochy) směrem k vnitřní straně ohybu (viz obrázek 11). Na ni působí síly, které mají za následek změny na vnitřních i vnějších vrstvách zpracovávaného materiálu. „Zatímco se vnitřní vlákna ohýbaného materiálu stlačují (záporné normálové napětí), vnější vlákna se naopak natahují (kladné normálové napětí), na neutrální ploše dochází tedy ke skokové změně napětí. Z této teorie vychází i fakt, že neutrální plocha je bez napětí, a tudíž i bez deformace.“ [9] Z tohoto předpokladu vychází i nutnost znát délku neutrální plochy – její vypočtená délka je zároveň rozměrem výchozího polotovaru ohýbané součásti. Pro přetvořenou část neutrální plochy se stanovuje poloměr

neutrální plochy ρ . V případě úzkých profilů dochází zároveň k deformaci průřezu (viz obrázek 12). [9, 10, 11]

Polotovary se zpracovávají nejčastěji na ohráňovacích lisech a to až do délky 6000 mm. [22]



Obr. 11 Schéma ohýbání. [9]

Odpružení při ohybu způsobuje elastická fáze deformace, která u většiny materiálu nastane v okamžiku zatížení a projevuje se po dobu působení sil v elastické fázi zátěžového diagramu. Po odlehčení zátěže v případě této fáze dochází k návratu do původního tvaru. Jestliže dojde k zatížení do oblasti plasticity, po odlehčení materiál zůstává deformován, avšak částečně (o vliv elasticity) se navrátí blíže původnímu tvaru. V případě ohýbání se mluví o úhlu odpružení, což je rozdíl mezi úhlem, který materiál svírá při zátěži a úhlem, který vznikne po ukončení působení ohybové síly. V literatuře se označuje řeckým písmenem β . Jeho velikost závisí na mechanických vlastnostech materiálu – tloušťce zpracovávaného plechu, koeficientu k (viz níže), velikosti úhlu ohybu a samozřejmě na konstrukčním provedení tvářecího nástroje. Pro některé materiály a způsoby ohýbání může přesáhnout i 20° (viz vzorce 2.40, 2.42 a 2.43). S odpružením je potřeba počítat, v lepším případě jej regulovat. Mezi metody ovlivnění dopadu elasticity lze zařadit zkosení ohybníku o úhel odpružení, zaoblení spodní hrany ohybníku a přidržovače, postupné ohýbání s odlehčením ohybnice či kalibrování bočními čelistmi. [9, 10, 11, 13]

Základními dvěma způsoby ohýbání materiálu jsou ohýbání do tvaru U a V (viz obrázek 13). Pojmenování odpovídá podobnosti výtvarku po ohybu s tvarem daného písmene. Hlavním rozdílem je, že při ohýbání do tvaru V se zhotovuje jeden ohyb, zatímco výsledek zpracování do tvaru U jsou ohyby dva. Pro zajištění výsledku procesu, je potřeba znát ohybovou sílu. Její výpočet je poměrně složitý, proto byla zavedena jeho přibližná podoba dle vzorce 2.23. „Vlivem působení tření na materiál klouzající do ohybnice, je maximální síla zhruba o 1/3 vyšší než F_0 . Dále je nutno připočíst kalibrační sílu působící na ohýbaný materiál (viz vzorec 2.24).

Výpočet F_{omax} se tedy provede dle vzorce 2.25. V případě úpravy čela ohybníku za účelem snížení odpružení se maximální síla ještě navyšuje až o 25 %.“ [9, 10, 11]

$$F_o = \frac{2 \cdot (1,3 + 0,8 \cdot \varepsilon_c) \cdot b \cdot s^2 \cdot Re}{3 \cdot l} [N] \quad (2.23)$$

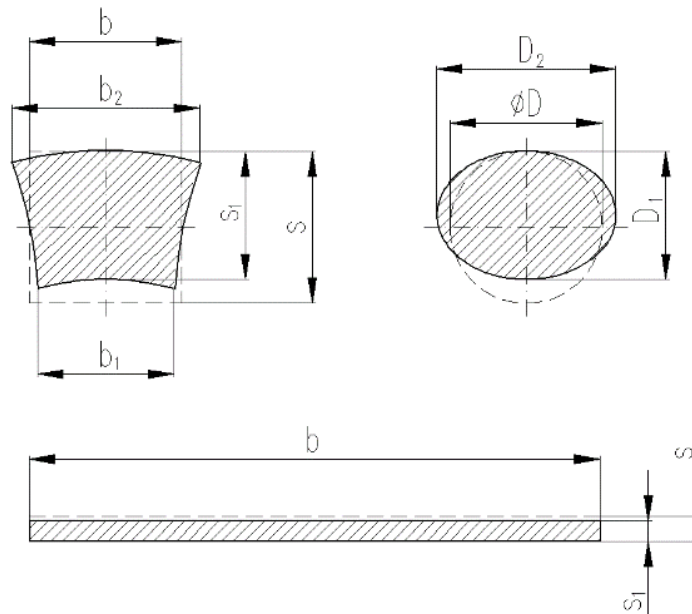
kde l – vzdálenost podpor ohýbadel,
 b – šířka ohýbaného materiálu.

„Výpočet mezního přetvoření ε_c je prováděn dle vzorce 2.38.“ [9]

$$F_k = S_o \cdot p [N] \quad (2.24)$$

kde S_o – kalibrovaná plocha polotovaru v průmětu kolmém na pohyb ohybníku,
 p – měrný tlak pro kalibrování.

Hodnoty, kterých p nabývá, se liší dle zpracovávaného materiálu, např. pro ocel do tloušťky 10 mm se jedná o hodnoty v rozpětí 80 až 150 MPa.“ [9]



Obr. 12 Změna průřezu ohnutého dílu. [9]

$$F_{omax} = 1,3 \cdot F_o + F_k [N] \quad (2.25)$$

Literatura taktéž rozlišuje ohybovou sílu pro oba druhy přetvoření. Vzorce pro výpočet ohýbání do tvaru V (F_V) a do tvaru U (F_U) vypadají následovně. [13]

$$F_V = \frac{b \cdot s^2 \cdot Re}{2 \cdot R} \tan \frac{\alpha}{2} [N] \quad (2.26)$$

$$F_U = (1 + 7 \cdot f) \frac{b \cdot s^2 \cdot Re}{R + s} [N] \quad (2.27)$$

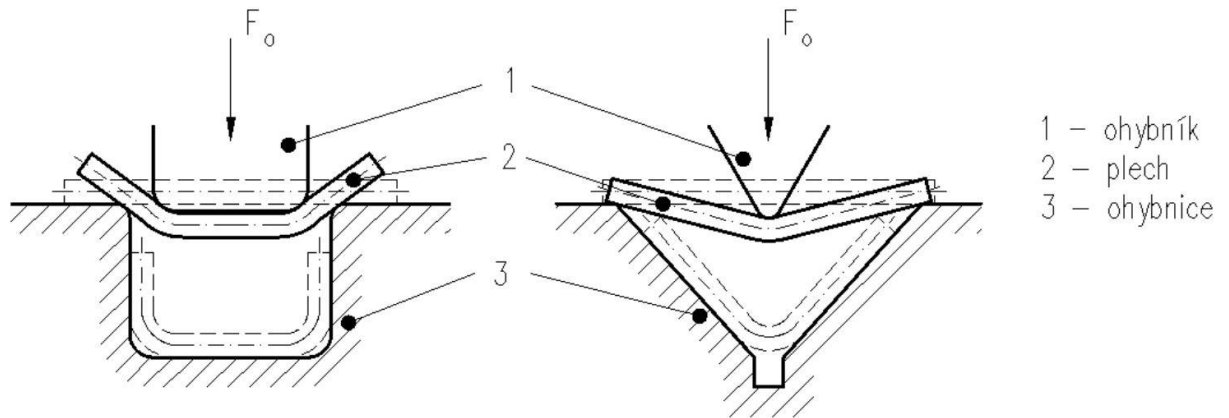
„Ze vzorce 2.28 se pak lze dopočítat k ohýbací práci. Použito je výpočtu F_{omax} , dále pak koeficientu m_o , který zohledňuje průběh ohýbací síly a dráha reprezentovaná výškou zdvihu ohýbadla h_o .“ [9]

$$A_o = m_o \cdot F_{omax} \cdot h_o [J] \quad (2.28)$$

„Výpočet rozvinutého rozměru součásti záleží na jejím tvaru, přesněji na velikosti rádia v ohybu, u větších hodnot se přihlíží k jeho relaci vůči tloušťce tvářeného materiálu, tj. koeficient k_o (viz vzorec 2.29). Dále na šířce ohýbaného pásu v poměru k jeho tloušťce.“ [9]

$$k_o = \frac{R_o}{s} [-] \quad (2.29)$$

„Pro velké poloměry zaoblení, kdy $k_o \geq 12$, pak platí následující vzorec pro výpočet poloměru neutrální osy (viz vzorec 2.30).“ [9]



Obr. 13 Schéma ohýbání do tvaru U (vlevo) a V (vpravo). [9]

$$\rho = R_o + \frac{s}{2} [mm] \quad (2.30)$$

„Naopak pro malé poloměry zaoblení, kdy $R_o \leq 6$, je potřeba použít dalších součinitelů (viz vzorec 2.31).“ [9]

$$\rho = \left(R_o + \frac{s}{2}\right) \cdot z_z \cdot z_r [mm] \quad (2.31)$$

„Součinitel ztenčení z_z při ohybu závisí na tvárnosti materiálu, stupni deformace, úhlu ohybu a tření materiálu o nástroj.“ [10] Oba součinitele se zpravidla odvozují z existujících grafů (viz obrázek 14) či tabulek, které odpovídají konkrétním podmínkám. Například v tabulce 2 lze vyčíst hodnoty součinitele z_r . [9, 10, 11]

Tab. 2 Hodnoty součinitele z_r . [9, 10]

Šířka ohýbaného dílu b [mm]	$1/2s$	s	$3/2s$	$2s$	$5/2s$	$3s$
Součinitel rozšíření z_r [-]	1,09	1,05	1,025	1,01	1,005	1

Přesný výpočet součinitelů z_z a z_r je možno realizovat podle následujících vzorců. [9, 11]

$$z_r = \frac{b_1}{b} [-] \quad (2.32)$$

$$z_z = \frac{s_1}{s} [-] \quad (2.33)$$

kde s_1 – tloušťka pásu po ohybu,
 b_1 – šířka pásu po ohybu.

Při ohýbání širokých pásů plechu je lépe aplikovat pozměněný vzorec (viz 2.34). [9, 10, 11]

$$\rho = R_o + x \cdot s [mm] \quad (2.34)$$

„Koeficient x se stanoví na základě závislosti poloměru ohybu a tloušťky plechu (součinitel k). Výběr hodnot, které nabývá x a také hodnot součinitele ztenčení z_z lze vidět v tabulce 3.“ [9]

Tab. 3 Závislost koeficientu x a z_z na součiniteli k_o . [9, 10]

k_o	0,1	0,25	0,5	1	2	3
x	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47
z_z	0,82	0,87	0,92	0,96	0,985	0,992

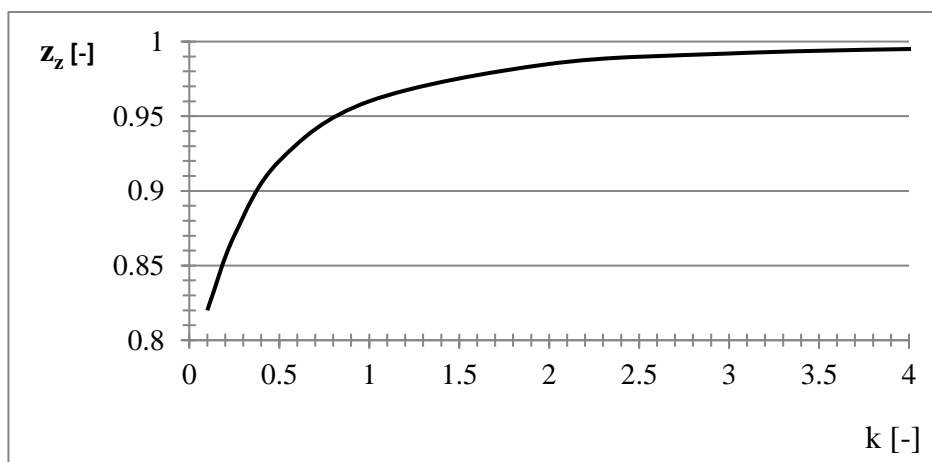
Výpočet délky neutrální plochy oblouku se provádí podle následujícího vzorce, pro který je nutno znát rádius neutrální plochy (např. dle vzorce 2.30). [9, 10, 11]

$$l_o = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho \text{ [mm]} \quad (2.35)$$

Závěrečným krokem po propočtu výše zmíněných hodnot je pak kalkulace délky rozvinutého tvaru ohýbané součásti součtem všech rovných úseků výsledného dílu a připočtením neutrálních ploch všech zaoblených úseků (viz vzorec 2.35). [9, 10, 11, 13]

$$l = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{j=1}^m l_{o_j} \text{ [mm]} \quad (2.36)$$

Pro ohýbání a jeho technologičnost je nezbytné ověřit, zda-li minimální (R_{min}) a maximální (R_{max}) rádius ohybu odpovídají schopnostem procesu. „Minimální poloměr ohybu R_{min} závisí na plasticitě (žíhaný, zpevněný stav) a anizotropii použitého materiálu, na způsobu ohýbání, úhlu ohybu, šířce a tloušťce ohýbaného polotovaru a kvalitě povrchu.“ [10] S ohledem



Obr. 14 Součinitel ztenčení při ohýbání měkké oceli o 90°. [9]

na opakovatelnost, kontrolovatelnost a celkovou stabilitu procesu, je nezbytné preferovat směr ohybu napříč vlákny zpracovávaného materiálu, pokud to konstrukce součásti umožňuje. Zároveň s ohýbáním lze součásti pomoci k odstranění případných ostřin po vystřihnutí. To se provádí zakládáním polotovaru do nástroje tak, aby došlo k působení tlakových sil (tedy vnitřní strana ohybu) na stranu materiálu, kde se ostřiny nachází. Tímto způsobem je možno ušetřit jednu operaci technologického postupu. [9, 10, 11, 13]

„Běžně se používá hodnot R_{min} na úrovni 40 % až 80 % tloušťky materiálu (pro měkkou ocel). V praxi se však minimálním hodnotám poloměru ohybu snaží vyhnout a používají se tak hodnoty bezpečně vyšší, zpravidla o 20 %. Pro přesnější výpočet R_{min} slouží následující vzorec.“ [9]

$$R_{min} = \frac{s \cdot (1 - \varepsilon_c)}{2 \cdot \varepsilon_c} \text{ [mm]} \quad (2.37)$$

kde ε_c – mezní přetvoření.

Tedy takové největší přetvoření, při kterém ještě nedojde k přerušení vláken. Zároveň napětí nepřesáhne R_m , tato hodnota se nejlépe zjistí z tahové zkoušky daného materiálu. Další možností je její výpočet (viz vzorec 2.38). [9, 10, 11]

$$\varepsilon_c = \frac{s}{2 \cdot R_o + s} [-] \quad (2.38)$$

„Největší poloměr ohybu R_{max} je naopak takový, při kterém ve vnějších vláknech průřezu materiálu vznikne při tváření plastická deformace. V případě elastické deformace se polotovar po odlehčení zatížení narovná do původního tvaru. Pro výpočet slouží vzorec (2.40).“ [9]

$$R_{max} = \frac{s}{2} \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) [mm] \quad (2.39)$$

$$\beta = (1 - \mu^2) \frac{2 \cdot l}{s \cdot E} \sigma_o [^\circ] \quad (2.40)$$

kde σ_o – náhradní ohybové napětí v krajních vláknech, které je dále vyjádřeno následujícím vztahem:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W} [MPa] \quad (2.41)$$

kde M_o – ohybový moment,
 W – modul průřezu.

Pro ohýbání do tvaru U je potřeba počítat odpružení mírně upraveným vzorcem (β_U), koeficient k_o se získá ze vzorce 2.28. [13]

$$\tan \beta_U = 0,75 \frac{l_m \cdot R_e}{k_o \cdot s \cdot E} [-] \quad (2.42)$$

kde l_m – součet rádia hrany ohybnice a vnějšího rádia ohybu součásti.

Pro součásti s velkým rádiem ohybu (tedy $k_o > 20$) se používá upraveného vzorce odpružení. [13]

$$\beta_U = (180 - \alpha) \left(\frac{R}{r_p} - 1 \right) [-] \quad (2.43)$$

Zabránění výraznému odpružení po ohybu lze provést například podbroušením ramene ohybníku, čímž vznikne negativní vůle, která se pohybuje mezi 0,8 a 0,9 násobkem tloušťky zpracovávaného materiálu. Také se využívá zaoblení čela ohýbadla či vyhazovače. Další možností je přidání kalibrace k ohybu, případně úpravou konstrukce součásti – vytvoření prolisů v ohybu. [13]

2.6 Postupové nástroje

Nástroje jsou nezbytnou součástí procesů zpracování materiálů. Zatímco o obráběcích nástrojích se dá při širším pohledu říci, že mají složitý tvar, avšak přesnost je ovlivněna přesností a tuhostí stroje, u tváření slouží stroj vesměs jako generátor síly a nástroj ovlivňuje dosažený tvar a přesnost. Také napětí je při obrábění soustředěno na řeznou hranu nástroje, zatímco „u nástrojů tvářecích dochází k vyvolání napětí nutného k plastické deformaci a jeho řízení okrajovými podmínkami, jako jsou volné povrchy při objemovém tváření nebo geometrie činných částí nástrojů pro tváření plošné.“ [21] Konstrukce nástrojů vychází z materiálových, konstrukčních a technologických faktorů tváření. Dopad na tvorbu nástroje má tvářecí stroj, pro který je určen, sériovost výroby, stupeň mechanizace a automatizace, materiál polotovaru a další. [22]

Dle typu technologie se vymezují nástroje pro plošné a objemové tváření. Lze říci, že velikost nástroje a potřebné síly se bude pro obě skupiny výrazně lišit. Nástroje objemového

tváření lze dále rozlišit zejména dle teploty, při které k deformaci dochází – za studena nebo za tepla, tedy pod či nad krystalizační teplotou. Nástroje pro plošné tváření se dělí na stříhací, ohýbací, tažné a tvarovací. Na rozdíl od objemového tváření, pro plošné lze jednotlivé technologie sdružovat a je tedy možno nástroje rozdělit na tyto skupiny:

- sloučené,
- postupové,
- postupové sdružené,
- pro postupové lisu.

První zahrnuje tváření v jedné operaci, druhá více operací a více kroků, třetí přidává navíc různé technologické operace a čtvrtá specifikum stroje. [22]

Volba postupového nástroje vychází z velikosti a průběhu napětí i deformace, které mají výrazný dopad na tuhost pracovních částí, materiál a konstrukci nástroje, stejně jako velikost tvářecích sil. Závisí také na vlastnostech materiálu zpracovávaného polotovaru (viz tabulka 4). [22]

Tab. 4 Vlastnosti materiálu polotovarů [22]

Materiál	Re [MPa]	Rm [MPa]	Z [-]	A [%]	r [-]	n_{zp} [-]	m_0 [-]	m_n [-]	k_s [MPa]	Erich.
11 301	230	250	0,82	31	1,055	0,223	0,60	0,80	230	6,8
11 321	240	290	0,85	29	1,151	0,223	0,65	0,80	240	6,6
17 241	200	540	0,36	45	1,090	0,440	0,59	0,83	520	14,7

Kde Z reprezentuje kontrakci, A tažnost, r je koeficientem normálové anizotropie, n_{zp} exponentem zpevnění, m_0 koeficientem tažení pro první, m_n pro n -tý tah, k_s střížným odporem a poslední sloupec značí hodnotu Erichsenovy zkoušky. [22]

Materiálové vlivy se hodnotí podle poměru Re/Rm , které zpravidla se pohybujících v intervalu 0,35 až 0,85, kdy minimální hodnoty jsou typickými pro austenitické korozivzdorné oceli. Na druhé straně spektra jsou zpravidla oceli třídy 11. V podstatě jde o široké spektrum plastické deformace, tedy i tažnosti. Stříhání je ovlivněno takovým způsobem, že je potřeba hlubokého vniknutí střížníku do materiálu pro jeho oddělení. Ruku v ruce s tím je spojena nutnost vysoké tváření síly, větších vůli, výraznější namáhání nástrojů. [22]

Postupový nástroj se skládá z několika částí – základová deska, upínací deska, kotevní deska, činné části, stopka, vodící lišty, dorazy, hledáčky, vodící deska a pružných elementů. Většina částí je normalizována a lze tak vybírat z existujících řešení. Hlavní funkcí základové desky je upevnění nástroje na stole lisu. Na obvodu jsou otvory pro osazení čepů, díky nimž je možno s nástrojem manipulovat jak na stole lisu, tak mimo něj. Deska slouží k zakotvení vedení. Vyrábí se zejména z ocelí 10 370, 11 500, 11 523 či šedé litiny. Její tloušťka je dána normou ČSN 22 6272 až 6279, zpravidla se pohybuje mezi 25 a 60 mm, obsahuje otvory pro propad výlisků. [22]

Upínací deska slouží k upevnění nástroje na beran lisu a k podepření střížníků spojených s kotevní deskou a upevnění vedení. Materiálem bývá ocel 10 373, 11 500 či 11 523, případně šedá litina. Dosahuje tloušťek 23 až 50 mm. Dle způsobu upnutí do lisu může být vybavena stopkou nebo jednostranně zvětšeným rozměrem pro ukotvení. [22]

Rozměrově podobná kotevní deska slouží k upevnění střížníků a ohybníků. Vyrábí se z oceli 11 500 nebo z nástrojové uhlíkové oceli, která je zakalena. Dosahuje tloušťky 10 až 32 mm. Osy otvorů pro umístění nástrojů musí být kolmé k rovině zpracovávaného materiálu, aby

nedocházelo k ohybu střížníků. Kotevní a upínací deska jsou k sobě sešroubovány, kdy hlavy šroubů se umísťují do desky upínací. [22]

Stopka, umístěná v těžišti (výpočet dle rovnice níže), funguje k upnutí nástroje na beran lisu a napomáhá tak přenesení tvářecích sil na činné části nástroje. Vyrábí se z oceli 11 600. Zbylé části nástroje – vodící lišty, dorazy, hledáčky apod. – napomáhají správné orientaci součástí v pracovním prostoru. [22]

$$F_c \cdot x_c = \sum(F_i \cdot x_i) \quad (2.44)$$

kde x_c – souřadnice celkové síly od vstupu materiálu do nástroje,
 x_i – souřadnice sil od vstupu do nástroje.

Vodící lišty slouží pro vedení pásu plechu v případě ručního podávání. Jejich tloušťka se standardně pohybuje mezi 5 a 8 mm. Vzdálenost mezi nimi odpovídá vnějším rozměrům přístříhu, ze kterého jsou zhotoveny výsledné součásti. [22]

K nastavení kroku slouží dorazy. Mohou být pevné (přední, zadní) nebo načínací (odpružené, neodpružené). Při použití hledáček se zpravidla volí načínací dorazy umístěné do vodících lišty. Naopak pevné se ukládají do střížnic. [22]

Hledáčky se umísťují do kroku, následně po vystřížení otvorů. Používají se pro plechy od tloušťky již 0,3 mm. Přímé hledáčky zachycují součást v jejich otvorech, nepřímé používají pro zahledání části plechu mimo výslednou součást. Pro plechy o tloušťce 1,5 mm tvoří činná část hledáčku 1,2 mm, vůli v otvoru 0,06 mm a výšku zaváděcí části tvoří polovina jeho průměru (pro hledáčky do $d = 6$ mm). U větších průměrů se používá jednotná délka 4 mm. Dále se hledáčky umísťují na čela střížníků (platí však opět pouze pro větší průměry). [22]

Vodící deska napomáhá vedení střížníků a zároveň stírání polotovaru při zpětném zdvihu nástroje. Vyrábí se z oceli 11 500, dosahuje tlouštěk 18 až 32 mm. Opatřuje se mazacími drážkami kolem vodících otvorů. Používá se pro nástroje s rozměry střížnice 400 x 250 mm. U větších se nahrazuje vodícími sloupky, zakotvenými do základové a upínací desky. [22]

Pružné prvky hrají významnou roli u postupových nástrojů. Plní funkci při stírání polotovaru z nástroje. Používají se šroubové, talířové a pryžové pružiny. Klíčovými vlastnostmi pro volbu správné pružiny jsou její pracovní zdvih f_h , velikost dráhy na předepnutí f_v , dráhy na propružení při stříhu f_e a hodnoty odbroušeného střížníku f_h . [22]

Správně zkonstruovaný nástroj je vyrobitelný, smontovatelný, má danou životnost a trvanlivost funkčních částí a v neposlední řadě pak možnost upnutí do stroje. Je tedy potřeba správně zvolit materiály, jejich mechanické a tepelné zpracování, vlastnosti funkčních ploch, rozměry a přesnost. Uložení a slícování stejně jako maximální využití normalizovaných součástí napomáhá lepší smontovatelnosti a výměně dílčích částí při jejich opotřebení. Zvláštní pozornost by měla být věnována tuhosti nástroje (i stroje), kvalitě vodících elementů, ale i údržbě a způsobu skladování. Cena nástroje by měla být ovlivněna požadavky na přesnost výroby, technologickým postupem a hlavně výrobním množstvím. [10, 11, 22]

2.6.1 Stříhání v postupovém nástroji

Stříhání v postupovém nástroji se příliš neliší od stříhání popsaného v kapitole 2.4.1, klíčovými parametry jsou střížná vůle a tvary střížných částí nástrojů. V praxi se většinou využívá nástrojů s rovnými čely. Šikmé střížníky lze vhodně využít pro tenčí materiály, kdy postupné vnikání střížníku pomáhá narovnávání zpracovávaného materiálu. Dále se pro snížení nároků na stroj může použít odstupňovaných střížníků, kdy všechny střížné síly nepůsobí

zároveň. Nevýhodou je naopak vyšší zdvih. Střížná vůle se počítá z následujících vzorců a vzorce 2.16. [22]

$$z = 0,0013 \cdot s \cdot \sqrt{k_s} \text{ [mm]} \quad (2.45)$$

$$z = 0,0021 \cdot s \cdot \sqrt{k_s} \text{ [mm]} \quad (2.46)$$

$$z = 0,0010 \cdot s \cdot \sqrt{k_s} \text{ [mm]} \quad (2.47)$$

$$z = 0,0016 \cdot s \cdot \sqrt{k_s} \text{ [mm]} \quad (2.48)$$

Z těchto vzorů lze vyzorovat rozdíl koeficientů pro výpočet střížné mezery u materiálů dosahujících tloušťky 4 mm (první dva vzorce) a materiálů větších tlouštěk (vzorec 2.47 a 2.48). První a třetí ze zmíněné čtveřice vzorců počítají střížnici bez fazetky, zbývající 2 pak s fazetkou. Koeficient k_s se počítá dle vzorce 2.49. [6, 22]

$$k_s = \frac{F_s}{S_s} [-] \quad (2.49)$$

Postupně se zpravidla vystříhnou otvory a pak dojde k ostřížení obvodového tvaru. Stříhání vnějšího obvodu se, v případě větších nároků na kvalitu povrchu, provádí i se zápornou střížnou vůlí. Střížník tedy přesahuje střížnici o 2 až 5% tloušťky zpracovávaného materiálu. Mezi mechanickými vlastnostmi polotovaru a velikostí negativní střížné vůle platí nepřímá úměra. Naopak pro přistříhování platí úplně jiná pravidla. [11, 22]

Činnými částmi tvářecích nástrojů jsou střížníky a střížnice. Tyto jsou popsány celou řadou norem. Literatura rozeznává 3 druhy střížníků:

- odstříhovací a přestříhovací,
- vystříhovací a prostříhovací,
- odstříhovače.

První typ se používá pro odstříhování odpadu po obvodu výtažků, na příčné dělení pásu či oddělování výstřížků z pásu a stříhání odpadu. Materiálem bývá nástrojová ocel, taktéž se používají vložkované střížníky. Vystříhovací se používají pro vystříhování obrysů do děrovaného polotovaru. Střížníky mohou být vedené, nevedené či zesílené. Vedení se používá pro snížení náchylnosti ke zlomení vlivem vyosení. Zesílené střížníky najdou nejčastěji užití při stříhání pevných materiálů nebo průměrů nižších 5 mm. Ukotvení střížníků se může odvíjet nejen od technologických faktorů procesu, ale i od zvyklostí firmy. Při stříhání na něj působí stahovací síla dosahující až 20% síly střížné. Do kotvící desky se střížníky nýtují, šroubují či zalévají pryskyřicí. [22]

Střížnice jsou upnuty do základové desky. Bývají kalené a střížná hrana kuželová, kuželová s válcovou plochou nebo válcová. Obsahují střížné otvory, stejně tak otvory pro dorazy, boční ostříhovače, připevňovací a středící prvky. Proto se tvarově složitě i rozměrné (cca od 200 mm) střížnice skládají ze segmentů, které se následně upevní kolíky a šrouby do správných pozic na základovou desku. Zpravidla u velkorozměrných střížných nástrojů se používají navařované střížné hrany. U menších nástrojů se používají vložky střížnice ze slinutých karbidů. [22]

Rozměrová přesnost nástrojů je závislá na tolerančním poli stříženého tvaru, pro vystříhování otvorů je určujícím rozměr střížníku pro obvod naopak střížnice. Protěžší nástroj je pak odvozen dle střížné mezery. [22]

Pro výpočet rozměrů střížníků a střížnic pro vystříhování otvorů (děrování) platí vzorec:

$$P_o = 0,8 \cdot P_u \text{ [mm]} \quad (2.50)$$

$$d_k = (d_{min} + 0,8 \cdot P_u) - p_k \text{ [mm]} \quad (2.51)$$

$$D_s = (d_k + v_{min}) + p_s \text{ [mm]} \quad (2.52)$$

kde d_k – průměr střížníku,
 d_{min} – minimální průměr střížníku,
 D_s – průměr střížnice,
 p_k – tolerance střížníku,
 P_o – opotřebení nástroje,
 p_s – tolerance střížnice,
 P_u – celkové opotřebení,
 v_{min} minimální vůle. [6, 22]

Pro výpočet rozměrů částí nástrojů při stříhání obvodových rozměrů platí:

$$d_k = (D_s - v_{min}) - p_k \text{ [mm]} \quad (2.53)$$

$$D_s = (D_{max} - 0,8 \cdot P_u) + p_s \text{ [mm]} \quad (2.54)$$

kde D_{max} – maximální průměr střížnice. [22]

2.6.2 Nástřihové plány

Volba vhodného nástřihového plánu se odvíjí od požadavků na úsporu materiálu nebo pracnosti, orientaci ostřin automatizace procesu a dalších faktorů. Zpravidla je nutno volit vhodný kompromis mezi několika z nich. Primární varianty uspořádání udává tvar součásti, dále pak výše zmíněné požadavky. Často používanými nástřihovými plány jsou jednořadý, víceřadý, šikmý, střídavý a další. Mají přímou vazbu na volbu můstků, zřídka kdy lze provádět tváření bez jejich aplikace. [22]

Cílem může být maximální využití materiálu či energie, maximální využití stroje při minimálních nákladech nebo optimální využití nástrojů. Úspora pracnosti zpravidla spočívá v podržení polotovaru v pásu plechu až do posledního kroku, kdy dojde k jeho odstřížení formou přestřihnutím můstku. V některých případech se vyplatí sdružovat různé součásti ze stejného materiálu do jednoho nástřihového plánu. [22]

2.6.3 Ohýbání v postupovém nástroji

Hlavní dělení ohýbání v nástroji se opět vymezuje dle tvaru ohybu – U či V. Pro ohybníky a ohybnice jsou zásadními parametry rádia hran. Velikost poloměru ohybníku r_1 závisí na materiálu polotovaru a dosahuje poloviny tloušťky polotovaru u materiálů s vyšší tažností a 0,8 násobek tloušťky pro ty s nižší tažností. Vlivem rozdílných mechanických vlastností polotovaru se doporučuje ve směru podélném k válcování materiálu zvětšit rádius o 20 až 25%. U ohybnic se volí poloměr r_2 – pro materiály o tloušťce menší 3 mm – větší než její dvojnásobek. Naopak pro materiály vyšších tloušťek se používá lomená hrana. [22]

Provedení hrany i velikost případného rádia ovlivňují potřebnou ohýbací silou. Ohýbá-li se do tvaru U, je potřeba volit také vhodnou vůli mezi ohybnicí a ohybníkem. Za běžných okolností se m_o volí stejná jako tloušťka materiálu pro plechy do 3 mm a následuje-li po ohýbání kalibrace. Pro plechy tlustší dosahuje vůle nejvýše tloušťky ohýbaného materiálu. Za účelem snížení odpružení se může vůle ve spodní části nástroje zmenšovat. Co se hloubky ohybnice týče, zpravidla se volí o dvě tloušťky větší než délka ramene ohybníku. [22]

Obdobně jako u střížníků i ohybníky a ohybnice mohou mít funkční části v podobě vložek z kalené oceli. Pro ohýbání a lemování polotovaru ve směru kolmém na pohyb beranu se používají boční ohýbací klíny. Ohybnice bývají skládané s vyhazovačem i bez něj. Často se

vyrábí z ocelí 11 500, 11 600 či uhlíkových nástrojových ocelí (vločky). Pro zpracování se volí zpravidla výstředníkové nebo klikové lisy. [22]

Zde se využívá vzorců vycházejících z kapitoly 2.5, avšak v následujících modifikacích:

$$F_V = \frac{2 \cdot b \cdot s^2 \cdot R_m}{3 \cdot l} [N] \quad (2.55)$$

$$F_U = \frac{4 \cdot b \cdot s^2 \cdot R_m}{3 \cdot (r_1 + 1,2 \cdot s + r_2)} [N] \quad (2.56)$$

kde F_V – ohýbací síla (V ohyb),
 F_U – ohýbací síla (U ohyb),
 l – vzdálenost mezi dvěma podporami (nebo rameno ohybu),
 r_1 – poloměr ohýbací čelisti,
 r_2 – poloměr pevné čelisti. [22]

Při kalibraci za účelem snížení odpružení součásti se výsledná síla násobí 2,5 až trojnásobně. I zde přesnost ohybu závisí na faktorech popsanych v kapitole 2.5. Dosažitelné tolerance lze pak vyčíst z norem ČSN. [22]

Specialitou je ohýbání součástí, kdy části po ohybu svírají ostrý úhel. Pro tyto případy se používá otočných čelistí ohybnice a ohybník zužující se od ohybového rádia. Mezi speciální nástroje též patří sdrúžené pro stříhání a ohýbání. Pro takové je potřeba velmi přesné vedení s ohledem na rozdílné vůle při ohýbání a stříhání. [22]

2.6.4 Technologické faktory tváření v postupových nástrojích

Mezi faktory ovlivňující tváření, patří počet a typ operací, typ nástroje, tvar součásti a rychlost deformace, tření činných ploch, teplota polotovaru, tlak přidržovače a další. Velmi důležité je uvažovat všechny technologické vlivy do určité míry ve vzájemné souvislosti. Například tření μ zvyšuje střížné síly, vyhazovací síly či ohýbací síly a moment, naopak snižuje odpružení. Pro ohýbání je důležité sledovat poměr mezi rádiem ohybu a tloušťkou plechu. [22]

Jako u všech výrobních technologií i zde je potřeba vzít v úvahu přesnost výroby. Na ni mají vliv zejména konstrukce a materiál, nejen součásti, ale i nástroje. Stříhat plechy do tloušťky 4 mm lze v tolerančních třídách IT12 až IT14. Při použití vodicích stojánek a přidržovačů se dosahuje IT8 až IT11, ve speciálních stříhadlech pro přesné stříhání dokonce IT6. U ohýbání závisí přesnost krom faktorů shodných se stříhem navíc ještě na stupni zplastizování. Čím vyšší je poměr rádia ohybu k tloušťce materiálu, tím větších přesností se dosahuje. [22]

3 EKONOMICKÉ FAKTORY

Podnik je z pohledu ekonoma mikroekonomickým subjektem. Ten by měl nastavit výrobní strategii k docílení podnikatelského záměru. V souladu s ní také hospodařit. Určené takové cíle, aby co nejlépe přispívaly k efektivnímu naplnění daných vizí. V tomto ohledu má velkou výhodu jednoduchosti procesu malá firma vůči nadnárodní korporaci. Zatímco, v mezinárodním kolosu musí jednotlivé divize a pobočky fungovat tak, aby přispívaly k celkové strategii a naplnění vizí, u malých či středních firem o strategii i operativě rozhodují prakticky stejní lidé či takové skupiny, které jsou v úzkém kontaktu na denní bázi (výrobní management). Měli by být dostatečně přesně informováni, aby mohli reagovat na vzniklé situace (změny trhu, výrobních možností, ad.), což se u korporace zajišťuje s velkým úsilím. [18]

3.1 Náklady

Náklady mohou být chápány z pohledu účetnictví finančního nebo vnitropodnikového. Praktické použití pro výpočet nákladů na výrobu má druhé zmíněné. Zatímco peněžní výdaje jsou okamžitým úbytkem peněz (z hotovosti, bankovních účtů), náklady souvisí s výnosy příslušného období (i budoucího). Z hlediska klasifikace se rozlišují:

- spotřeba materiálů a energií,
- odpisy,
- mzdové náklady,
- finanční náklady,
- náklady na externí služby.

Detailnější druhové třídění se uvádí ve výkazu zisku a ztrát. Tato klasifikace je důležitá zejména pro finanční účetnictví a analýzy. [18, 28]

Náklady lze dále třídit podle místa vzniku a odpovědnosti, tedy kde vznikly a kdo je za ně zodpovědný. Z pohledu výroby a přidané hodnoty se rozlišují náklady na výrobní a nevýrobní činnosti. Výrobní náklady lze dále dělit na hlavní, pomocné, vedlejší a přidružené výroby. Technologické náklady jsou takovými, které jsou dány technicko-hospodářskými normami, zatímco náklady na obsluhu a řízení plynou z normativů. Jednicové náklady přímo souvisí s určitým výkonem režijní náklady jsou naopak spjaté s výrobou jako celkem. [18, 28]

Ve firmách se zpravidla zakládají hospodářská a nákladová střediska, což jsou útvary v rámci podniku, ve kterých se sledují náklady. Nákladová střediska jsou typická tím, že jejich výkony lze zpravidla obtížně plánovat a vykazovat. [18, 28]

Dále se náklady dají dělit podle toho, na co jsou vynaloženy, hovoří se o kalkulačním členění nákladů. Poukazují, na jaké výrobky byly vynaloženy a umožňují řídit výrobní strukturu, aby byl zajištěn zisk. Zároveň jsou vstupem pro některá manažerská rozhodnutí – vyrobit, nakoupit, kooperovat. Jiným hlediskem se rozlišují přímé a nepřímé náklady. Podobně jako jednicové a režijní, přímé souvisí s určitým druhem výkonu, nepřímé jsou svázané s výrobou jako větším celkem. [18, 28]

Z pohledu managementu je velmi důležité chápání složek nákladů – variabilní a fixní. Variabilní náklady plynule mění s rozdílným objemem výroby, kdežto fixní náklady se s počtem zhotovených produktů nemění (případně rostou skokově). [18, 28]

„Celkové náklady N jsou veškeré náklady vynaložené na celkovou produkci.“ [28] Naopak průměrné (jednicové) náklady N_j jsou vztaženy k jednotce produktu. [18, 28]

$$N_j = \frac{N}{q} \text{ [Kč]} \quad (3.1)$$

kde q – počet produktů.

V případě vyjádření produkce v Kč (Q) se výpočet nákladů provede haléřovým ukazatelem nákladovosti h_n , tedy kolik haléřů činí náklady na 1 Kč výroby. [18, 28]

$$h_n = \frac{N}{Q} \text{ [-]} \quad (3.2)$$

Stanovení nákladů se provádí pomocí matematických funkcí a to dle jejich proporcionality. Lineární funkce $y=a+bx$ popisuje proporcionalní náklady. Nadproporcionalní jsou dány kvadratickou rovnicí $y=a+bx+cx^2$, podproporcionalní pak rovnicí $y=a+b-cx^2$ dosazením vzniknou vzorce:

$$N = FN + VN_j \cdot q \text{ [Kč]} \quad (3.3)$$

$$N = FN + VN_j \cdot q + VN_j \cdot q^2 \text{ [Kč]} \quad (3.4)$$

kde VN_j – jednotkové variabilní náklady. [28]

$$C_{pt} = m_{pt} \cdot C_{1kg} \text{ [Kč]} \quad (3.5)$$

$$N_{pm} = \frac{C_{pt}}{n_t} \text{ [Kč/ks]} \quad (3.6)$$

kde C_{pt} – cena tabule plechu,
 m_{pt} – hmotnost tabule plechu,
 C_{1kg} – cena tabule plechu za 1 kg,
 N_{pm} – náklady na přímý materiál,
 n_t – počet kusů na jedné tabuli.

$$N_e = n_{hod} \cdot P_s \cdot C_e \text{ [Kč]} \quad (3.7)$$

kde N_e – náklady na energie,
 n_{hod} – počet potřebných hodin,
 P_s – příkon stroje,
 C_e – cena energií. [18]

$$n_{hod} = n_s \cdot t_h \text{ [hod]} \quad (3.8)$$

kde n_s – počet potřebných směn,
 t_h – čas směny. [18]

$$N_{mz} = N_{hs} \cdot \acute{U}P \text{ [Kč/hod]} \quad (3.9)$$

kde N_{mz} – náklady – přímé mzdy,
 N_{hs} – hodinová sazba pracovníka,
 $\acute{U}P$ – úhrn pojištění. [18]

3.2 Kalkulace

Způsobem pro stanovení nákladů na výrobu je kalkulace. Rozlišuje se několik druhů a to podle času, obsažených nákladů či jejího účelu. Operativní kalkulace zahrnuje náklady a od nich odvislé výkony. Strategická kalkulace naopak počítá využití kapitálu a jeho návratnost či příští výnosy. Dle zahrnutých nákladů jsou to kalkulace s úplnými náklady (absorpční) nebo kalkulace s náklady neúplnými. Dále může být předběžná, výsledná, následná či rozdílová. Důležitým prvkem je definice jednotek. Ekonomie rozlišuje kalkulační jednice (Kč, ks, hodina) a kalkulační množství, které zahrnuje více jednic, pro něž se vypočítávají celkové náklady. [28]

Tvorba všeobecných kalkulačních vzorců je schematicky naznačena v tabulce číslo 5. Zahrnutím všech 7 položek (od přímého materiálu po zisk) se vypočítá nákladová cena výrobku (tedy náklady + zisk). V případě záporného zisku se hovoří o ztrátě. [28]

Tab. 5 Kalkulační vzorce. [28]

Přímý materiál	
Přímé mzdy	
Ostatní přímé náklady	
Výrobní režie	
=====	Vlastní náklady výroby
Správní režie	
=====	Vlastní náklady výkonu
Odbytové náklady	
=====	Úplné vlastní náklady výkonu
Zisk	
=====	Cena výkonu

Přímý materiál zahrnuje suroviny, základní materiál, polotovary, pohonné hmoty, pomocný a ostatní materiál, výrobní obaly (s ohledem na předmět kalkulace). Do přímých mezd patří základní (úkolové, časové) mzdy včetně příplatků spojených kalkulovaným výkonem. Ostatní přímé náklady obsahují energie, odpisy, opravy, údržbu, příspěvky na sociální zabezpečení, ztráty vlivem vadné výroby. Mezi výrobní režie se řadí náklady související s řízením a obsluhou výroby, které nelze stanovit přímo na kalkulační jednici. [28]

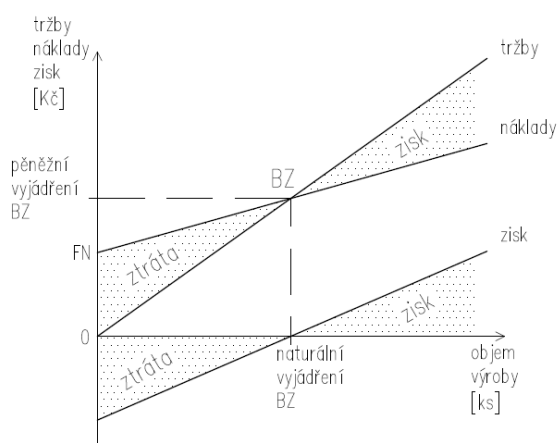
Kalkulační metody se člení na kalkulace dělením, přírážkové kalkulace, kalkulace ve sdružené výrobě a rozdílové kalkulace. Mezi často používané metody patří ABC (Activity Based Costing) a Target Costing. Metoda ABC se snaží dosáhnout přesnějšího přiřazení režijních nákladů kalkulaci tak, že se nejprve zjistí náklady dílčí činností ve firmě. Naopak Target Costing se snaží docílit nákladů takových, aby při dané tržní ceně bylo dosaženo plánovaného zisku. [28]

Z hlediska úplnosti nákladů se rozlišuje úplných nákladů (absorpční kalkulace) a neúplných nákladů (direct costing). [28]

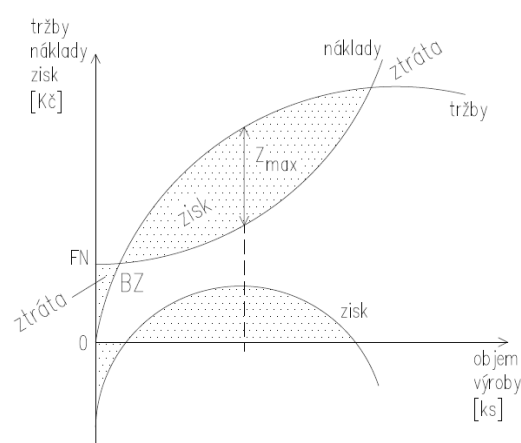
3.3 Bod zvratu

Prakticky každá výroba je na svém začátku ztrátová. Je tedy potřeba analyzovat, kdy se stane ziskovou. Bod zvratu je množství výrobků, které odpovídá vyrovnání tržby T s celkovými náklady N . Lze jej vyjádřit početně, známé je též grafické znázornění (viz obrázky č. 15 a 16). Pro výpočet bodu zvratu je tedy nutné mít správně a přesně identifikované náklady na výrobu. [28]

Tento obecný graf popisuje lineární závislost tržeb na množství výroby, což však zpravidla neodpovídá reálné situaci. Zjednodušeně řečeno platí spíše model, kdy s růstem poptávky se zvyšuje i nabídka, pokud to zdroje umožňují, dokud nedojde k nasycení trhu a tím i úpadku poptávky a poklesu tržeb. Na této bázi se používá upraveného grafu. Z něho se pak zjišťuje množství, kdy je maximální zisk – tedy bod maximálního zisku. Obdobné pravidlo platí i pro maximální tržby. [18, 28]



Obr. 15 Bod zvratu – lineární funkce. [28]



Obr. 16 Bod zvratu – nelineární funkce. [28]

$$T = q \cdot C_v \text{ [Kč]} \quad (3.10)$$

$$N_c = I + q \cdot N_j \text{ [Kč]} \quad (3.11)$$

kde T – tržby,
 C_v – cena výrobku,
 q – počet výrobků,
 I – investice do nástroje.

Pro bod zvratu platí, že $T=N_c$, pak tedy:

$$q \cdot C_v = I + q \cdot N_j \quad (3.12)$$

$$q = \frac{I}{C_v - N_j} \text{ [ks]} \quad (3.13)$$

Kde jmenovatel zároveň představuje zisk z jednoho kusu (Z_j). Následujícím vzorcem se vypočte návratnost investice v letech.

$$t_r = \frac{q}{q_r} \text{ [roky]} \quad (3.14)$$

kde t_r – návratnost investice,
 q_r – předpokládaná roční výroba.

3.4 Výrobní dávka

Výrobu lze provést najednou (roční, měsíční, týdenní objem) nebo ve výrobních dávkách. Jelikož nastavení stroje i skladování výrobků lze kvantifikovat určitou sazbou, je potřeba najít vhodný kompromis – optimální výrobní dávku (m_{opt}). Pro její výpočet se používá následného vzorce. [28]

$$m_{opt} = \sqrt{\frac{2 \cdot q_r \cdot N_f}{Q_{skl}}} \text{ [ks]} \quad (3.15)$$

kde N_f – fixní náklady na výrobní dávku,
 Q_{skl} – souhrnná sazba nákladů na skladování a úroky. [28]

S výrobní dávkou jde ruku v ruce i průběžná doba výroby, tedy celkový čas od provedení první operace po dokončení výrobku. Zadávání zakázek do výroby musí být provedeno s dostatečným předstihem, aby byly dokončeny včas. [18, 28]

3.5 Rozvržení využití materiálu

Pro výpočet přímého materiálu je nutné znát spotřebu materiálu na výrobu jednoho kusu. V případě lisování v postupných nástrojích lze tedy zjistit počet kusů z následujících nerovnic a vzorce:

$$y \cdot l'_y + l_z < l_d \quad (3.16)$$

$$x \cdot l'_x < l_\xi \quad (3.17)$$

$$n_t = x \cdot y \text{ [ks]} \quad (3.18)$$

kde x – počet kusů na délku

l_z – délka zbytku pro zavádění do postupového nástroje

l_d – rozměr pásu v ose x

l_ξ – rozměr pásu v ose y

y – počet kusů na šířku

n_t – celkový počet kusů z pásu,

n_p – celkový počet kusů z pásu

Délka plechu l_z se vypočte z celkového počtu kroků potřebných pro tváření dílce a přídatku na zavádění plechu do nástroje. Rozměry l_d a l_ξ jsou délky či šířky pásu (dle směru rozstříhu).

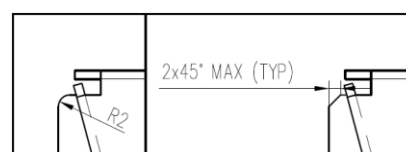
4 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Tato kapitola popíše navrhovaný technologický postup a výpočty potřebné ke konstrukci nástroje, ve kterém proběhne výroba součásti.

4.1 Technologický postup

Volbou výroby součásti lisováním v postupovém nástroji se technologický postup bude skládat prakticky ze dvou dominantních operací. V první z nich dojde k vytvoření polotovaru (přístřihu plechu) ke zpracování v lisovacím nástroji, jež proběhne v návazné operaci. V případě potřeby bude na konec výrobního postupu přidáno odjehlení. Samozřejmě je nutno takový technologický postup doplnit o nezbytné kontrolní operace – jednu mezioperační pro ověření správnosti šíře pásu plechu, jež je zaváděn do lisovacího nástroje a v neposlední řadě zavěšenou kontrolu kvality vzniklé součásti.

Pro výrobu v postupovém nástroji je také žádoucí původní zaoblené rohy upravit na sražení (viz obrázek 17), ulehčí se tak konstrukci nástroje při zachování funkce součásti a účelu takového konstrukčního prvku. Zákazník s touto modifikací souhlasí.



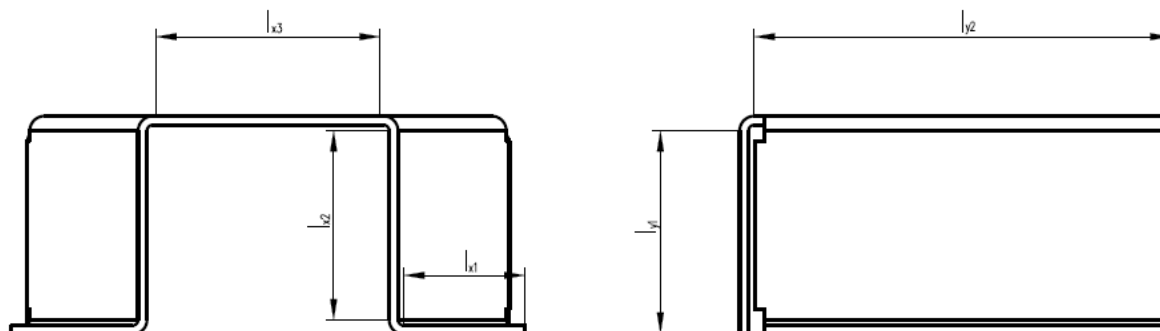
Obr. 17 Úprava hrany.

Tab. 6 Technologický postup.

Číslo oper.	Pracoviště	Popis operace	Stroj/zařízení
10	Vodní paprsek	Rozřezání tabule	
20	Kontrola	Kontrola rozměrů pásu	Posuvné měřítko
30	Lis	Lisování v postupovém nástroji	
40	Ruční dokončení	Odjehlení	N/A
50	Kontrola	Finální kontrola výrobku	Posuvné měřítko, válečkové kalibry

4.2 Výpočet rozměrů rozvinutého tvaru

Ještě před výpočtem rozvinutého tvaru je vhodné ověřit hodnoty ohybových rádií. Budou-li v pořádku, nic nebrání výpočtu rozvinu. V opačném případě však bude nutno upravit jejich hodnoty (využitím vzorců 2.37 – 2.39).



Obr. 18 Schéma pro výpočet rozvinutého tvaru součásti.

$$\varepsilon_c = \frac{s}{2 \cdot R_o + s} = \frac{1,5}{2 \cdot 1 + 1,5} = \underline{0,429} [-]$$

$$R_{min} = \frac{s \cdot (1 - \varepsilon_c)}{2 \cdot \varepsilon_c} = \frac{1,5 \cdot (1 - 0,429)}{2 \cdot 0,429} = \underline{0,998} [mm]$$

Minimální poloměr ohybu je tedy dodržen. Využitím vzorců 2.29 – 2.36 a hodnot z tabulky 3 se přikročí k výpočtu rozměrů rozvinutého tvaru součásti.

$$k_o = \frac{R_o}{s} = \frac{1}{1,5} = \underline{0,667} [-]$$

$$\rho = R_o + x \cdot s = 1 + 0,38 \cdot 1,5 = \underline{1,57} [mm]$$

$$l_o = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho = \frac{90 \cdot \pi}{180} \cdot 1,57 = \underline{2,47} [mm]$$

Z rozměrů součásti dle výkresu se vypočtou velikosti rovných úseků:

$$l_{x_1} = \frac{87,2 - (44,1 - 2 \cdot s)}{2} - (R_o + s) = 23,05 - (1 + 1,5) = \underline{20,55} [mm]$$

$$l_{x_2} = 37 - 2 \cdot (R_o + s) = 37 - 2 \cdot (1 + 1,5) = \underline{32} [mm]$$

$$l_{x_3} = 44,1 - 2 \cdot (R_o + s) = 44,1 - 2 \cdot (1 + 1,5) = \underline{39,1} [mm]$$

$$l_{y_1} = 36,8 - (R_o + s) = 36,8 - (1 + 1,5) = \underline{34,3} [mm]$$

$$l_{y_2} = 73,2 - (R_o + s) = 73,2 - (1 + 1,5) = \underline{70,7} [mm]$$

Součtem rovných úseků a délek oblouků dojde k výpočtu celkové délky rozvinutého tvaru v obou hlavních směrech (viz obrázek 19): Pro výpočet délky kroku je potřeba ještě zjistit vnější rozměry, opsané pomyslným čtvercem – jsou označeny l'_x a l'_y .

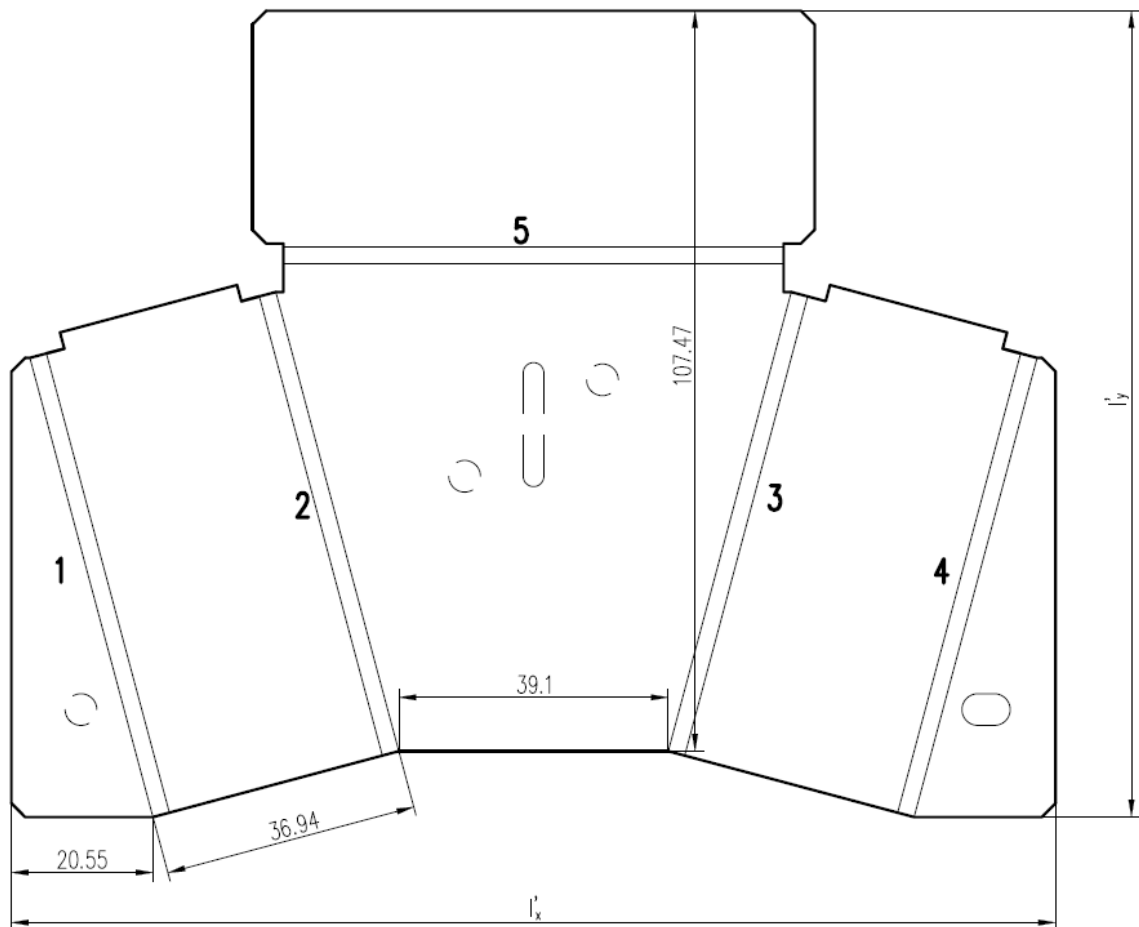
$$l_x = \sum_{i=1}^n l_{x_i} + \sum_{j=1}^m l_{o_j} = 2 \cdot l_{x_1} + 2 \cdot l_{x_2} + l_{x_3} + 4 \cdot l_o = 2 \cdot 20,55 + 2 \cdot 32 + 39,1 + 4 \cdot 2,47 = \underline{154,08} [mm]$$

$$l_y = \sum_{i=1}^n l_{y_i} + \sum_{j=1}^m l_{o_j} = l_{y_1} + l_{y_2} + l_o = 34,3 + 70,7 + 2,47 = \underline{107,47} [mm]$$

$$l'_x = 2 \cdot l_{x_1} + 2 \cdot (l_{x_2} + 2 \cdot l_o) \cdot \cos 15^\circ + l_{x_3} = 2 \cdot 20,55 + 2 \cdot (32 + 2 \cdot 2,47) \cdot 0,966 + 39,1 = \underline{151,57} [mm]$$

$$l'_y = l_y + (l_{x_2} + 2 \cdot l_o) \cdot \sin 15^\circ = 107,47 + (32 + 2 \cdot 2,47) \cdot 0,259 = \underline{117,04} [mm]$$

Na základě výsledků výše se bude dále vyhodnocovat možnost uspořádání na pásu plechu (s tím spojený počet kroků k výrobě, délka kroku, návrh můstků, výpočet sil atp.), stejně jako rozvržení na plechové tabuli k rozstřížení.



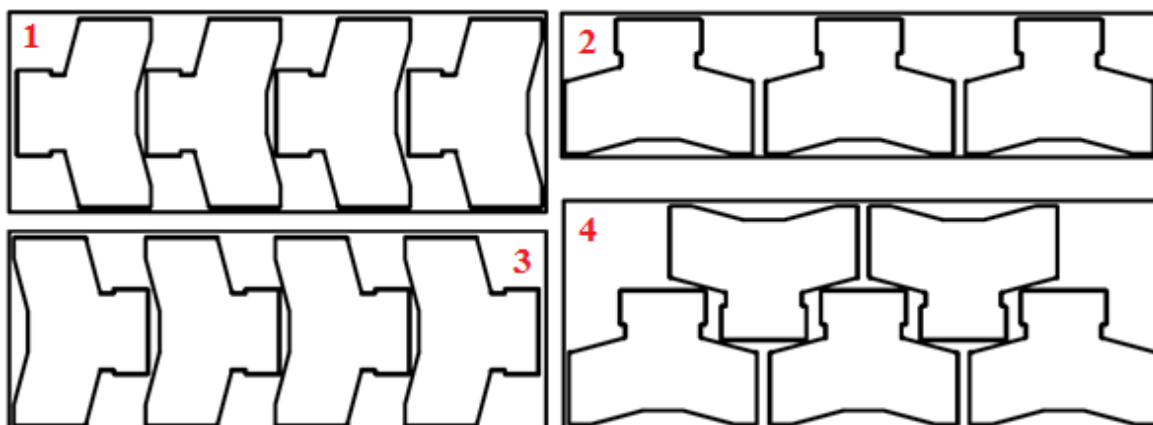
Obr. 19 Rozvinutý tvar a jeho hlavní rozměry.

4.3 Volba nástřihového plánu

Základem pro volbu nástřihového plánu je návrh různých variant. Na obrázku 20 lze vidět jak úvahy o jednoduchém plánu, tak o sdružení dvou řad součástí na jeden pás plechu. S ohledem na velikost a relativní složitost výrobku však sdružování nepůsobí příliš výhodně. Práce tedy bude dále uvažovat o jednoduchém rozložení. Zde nastává prostor pro rozvalu nad orientací součásti při zavádění do nástroje a s tím souvislá volba můstků. Klíčové jsou u této součásti ohyby a pořadí jejich zhotovení. Na obrázku 19 jsou očíslovány od 1 do 5. Jelikož jsou ohyby 1 a 4 stejně jako 2 a 3 navzájem zrcadlové, zhotovení těchto párů v jednom tvářecím kroku je logickým krokem. Před ohýbáním však bude vhodné vystřihnout všechny otvory a patrně i velkou část obvodového tvaru nebo celý tvar. Zbývá uvážit, jestli závěrečným ohybem výroby před ostříhnutím bude č. 5 nebo souběžně č. 2 a 3.

V případě této součásti, s ohledem na její rozměrové tolerance a tvar, by se také nabízela možnost vyřezání (pomocí laseru či plazmového paprsku) obrysů součástí včetně všech otvorů na pás plechu, kde by tyto již byly spojeny technologickými můstky a v postupovém nástroji by došlo už jen k ohnutí a ostříhnutí výrobku. Toto řešení však zůstane prozatím jako alternativní. Za předpokladu, že hospodárnost primárního nebude uspokojivá, mohlo by se nabídnout k počtům a posouzení.

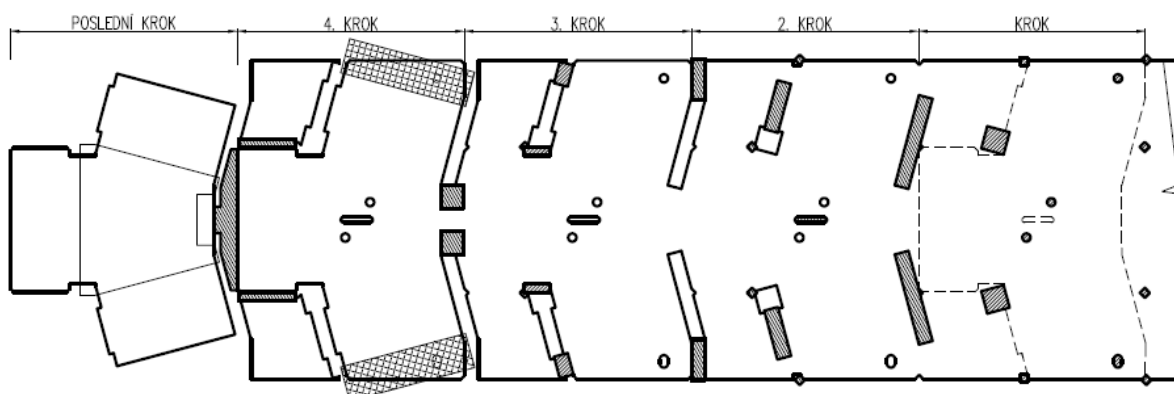
Zpět k variantám nástřihového plánu – dle obrázku 12 se výhodně jeví zavádění do nástroje dle návrhu rozložení č. 1 či č. 2. Pro druhé jmenované se technologický můstek vyplatí vytvořit mimo součást. Pás plechu tedy bude rozšířen o prostor, na kterém vzniknou můstky. V případě technických problémů u prvního rozložení dojde k návratu k rozložení č. 2.



Obr. 20 Varianty nástřihového plánu (zleva doprava 1-4).

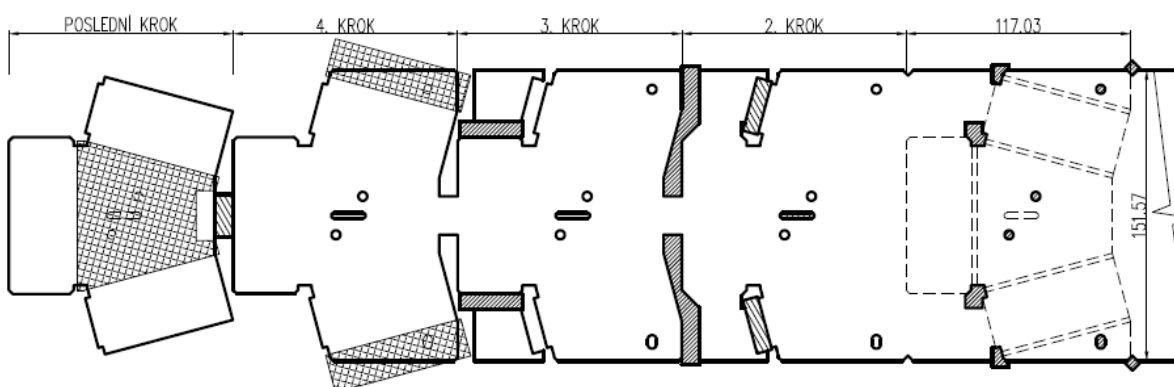
4.4 Návrh kroků postupového lisování

Pro volbu nejvhodnější varianty zavádění do nástroje a tím pádem i jeden z důležitých faktorů produktivní výroby, je nutno uvažovat několik možností. Mezi ně patří orientace hotového výrobku vzhledem k pásu plechu, počet kroků, ve kterých dojde ke zhotovení součásti, jejich spojení a v neposlední řadě pořadí tvářecích operací.



Obr. 21 Jednotlivé kroky tvářecího procesu – jednodušší nástroje.

Vhodným rozložením tvářecích operací do kroků dojde k optimálnějšímu umístění těžiště sil, nad které se umístí stopka nástroje.



Obr. 22 Jednotlivé kroky tvářecího procesu – varianta pro konstrukci nástroje.

Vzájemná poloha rozvinutých tvarů na pásu má přímý vliv na konstrukční řešení nástroje, dále na hospodárnost celého procesu v podobě využití polotovaru (množství odpadu) a s tím spojené výrobní náklady.

První možností je použití konstrukčně jednodušších nástrojů, díky čemuž se však zvyšuje počet kroků potřebných pro vystřížení tvarů (viz obrázek 21). Ačkoli na nákrese níže je pouhých 5 postupných kroků, v předposledním jsou stříhací nástroje příliš blízko sobě. O kolizi nejde, ale konstrukčně to není přijatelné. Zároveň v tomto kroku dochází ke stříhání a ohýbání.

4.5 Výpočet sil

Vystřížení otvoru průměru 4,6 mm (potřeba celkem 3x):

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 750 = \underline{600} \text{ [MPa]}$$

$$S_{s1} = \pi \cdot D \cdot s = \pi \cdot 4,6 \cdot 1,5 = 6,9\pi = \underline{21,7} \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$F_{s1} = \tau_s \cdot S_{s1} \cdot n = 600 \cdot 21,7 \cdot 1,45 = \underline{18\,879} \text{ [N]}$$

Vystřížení oválného otvoru 18 x 3 mm:

$$S_{s2} = (2 \cdot 15 + 3\pi) \cdot s = 39,5 \cdot 1,5 = \underline{59,25} \text{ [mm}^2\text{]}$$

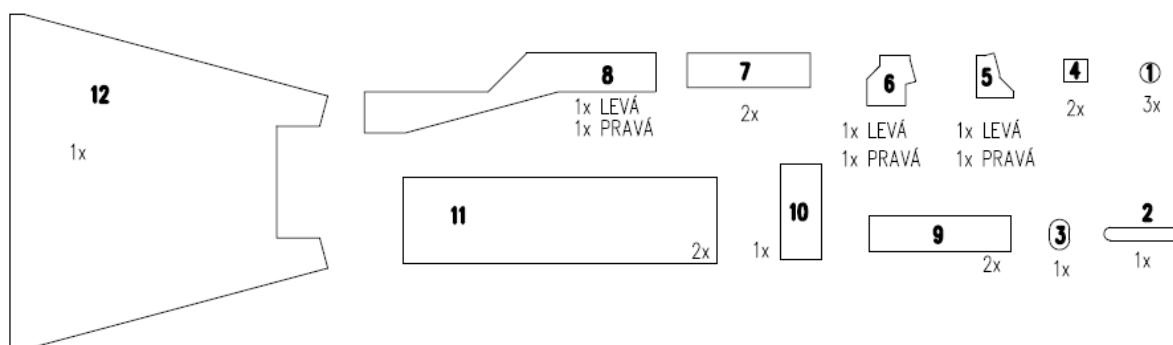
$$F_{s2} = \tau_s \cdot S_{s2} \cdot n = 600 \cdot 59,25 \cdot 1,45 = \underline{51\,548} \text{ [N]}$$

Vystřížení oválného otvoru 7 x 4,6 mm.:

$$S_{s3} = (2 \cdot 2,4 + 4,6\pi) \cdot s = 19,3 \cdot 1,5 = \underline{28,95} \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$F_{s3} = \tau_s \cdot S_{s3} \cdot n = 600 \cdot 28,95 \cdot 1,45 = \underline{25\,187} \text{ [N]}$$

Vystřížení obrysu součásti probíhá v několika krocích. Střížníky a ohybníky jsou očíslovány (viz obrázek 23) a na jejich základě se vypočtou síly. Pro přesnost jsou porovnány s nástřihovým plánem dle obrázku 22, aby síly odpovídaly skutečné střížné ploše:



Obr. 23 Očíslování nástrojů pro výpočet tvářecích sil.

$$S_{s4} = (5 + 5) \cdot s = 10 \cdot 1,5 = \underline{15} \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$F_{s4} = \tau_s \cdot S_{s4} \cdot n = 600 \cdot 15 \cdot 1,45 = \underline{13\,050} \text{ [N]}$$

$$S_{s5} = (4,67 + 0,69 + 5,17 + 2,43 + 1,81 + 9,86) \cdot s = 24,6 \cdot 1,5 = \underline{36,9} \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$F_{s5} = \tau_s \cdot S_{s5} \cdot n = 600 \cdot 36,9 \cdot 1,45 = \underline{32\,103} \text{ [N]}$$

$$S_{s6} = (9 + 5 + 2,43 + 5,17 + 1,11 + 7,02 + 2,5 + 4,23 + 6,24) \cdot s = 42,7 \cdot 1,5 = \underline{64,05} \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$F_{s6} = \tau_s \cdot S_{s6} \cdot n = 600 \cdot 64,05 \cdot 1,45 = \underline{55\,724} \text{ [N]}$$

$$S_{s7} = (2.28,6 + 8) \cdot s = 65,2.1,5 = \underline{97,8} [mm^2]$$

$$F_{s7} = \tau_s \cdot S_{s7} \cdot n = 600.97,8.1,45 = \underline{85\ 086} [N]$$

$$S_{s8} = (22,4 + 8,95 + 29,89 + 12,65 + 28,8 + 9,56 + 9,55 + 36,94) \cdot s = 158,74.1,5 = \underline{238,11} [mm^2]$$

$$F_{s8} = \tau_s \cdot S_{s8} \cdot n = 600.238,11.1,45 = \underline{207\ 156} [N]$$

$$S_{s9} = 2.32,8 \cdot s = 65,6.1,5 = \underline{98,4} [mm^2]$$

$$F_{s9} = \tau_s \cdot S_{s9} \cdot n = 600.98,4.1,45 = \underline{85\ 608} [N]$$

$$S_{s10} = 2.22 \cdot s = 44.1,5 = \underline{66} [mm^2]$$

$$F_{s10} = \tau_s \cdot S_{s10} \cdot n = 600.66.1,45 = \underline{57\ 420} [N]$$

Ohýbací síla pro ohyb 1 a 4:

$$F'_{o11} = \frac{4 \cdot b \cdot s^2 \cdot Rm}{3 \cdot (r_1 + 1,2 \cdot s + r_2)} = \frac{4 \cdot 69 \cdot 1,5^2 \cdot 750}{3 \cdot (0,9 + 1,2 \cdot 1,5 + 3,5)} = \frac{465750}{18,6} = \underline{25\ 040} [N]$$

Ohýbací síla pro ohyb 2, 3 a 5:

$$F'_{o12} = \frac{4 \cdot b \cdot s^2 \cdot Rm}{3 \cdot (r_1 + 1,2 \cdot s + r_2)} = \frac{4 \cdot 105,3 \cdot 1,5^2 \cdot 750}{3 \cdot (0,9 + 1,2 \cdot 1,5 + 3,5)} = \frac{710775}{18,6} = \underline{38\ 214} [N]$$

Ohýbací síly se za účelem snížení odpružení násobí 3x. Výsledná F_{U11} tedy dosahuje 75 120 N, zatímco F_{U12} 114 642 N.

Vyhazovací síla:

$$F_{vyh} = S_{sč} \cdot p = 354.30 = \underline{10\ 620} [N]$$

Celková tvářecí síla:

$$\begin{aligned} F_c &= \sum F_{si} + \sum F_{oj} \\ &= 3 \cdot F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + 2 \cdot F_{s4} + 2 \cdot F_{s5} + 2 \cdot F_{s6} + 2 \cdot F_{s7} + 2 \cdot F_{s8} + 2 \cdot F_{s9} \\ &\quad + F_{s10} + 2 \cdot F_{o11} + F_{o12} \\ F_c &= 3.18879 + 51548 + 25187 + 2.13050 + 2.32103 + 2.55724 + 2.85086 \\ &\quad + 2.207156 + 2.85608 + 57420 + 25040 + 38214 = \underline{1\ 211\ 500} [N] \\ &= \underline{1\ 211,5} [kN] \end{aligned}$$

Celková síla pro volbu lisu:

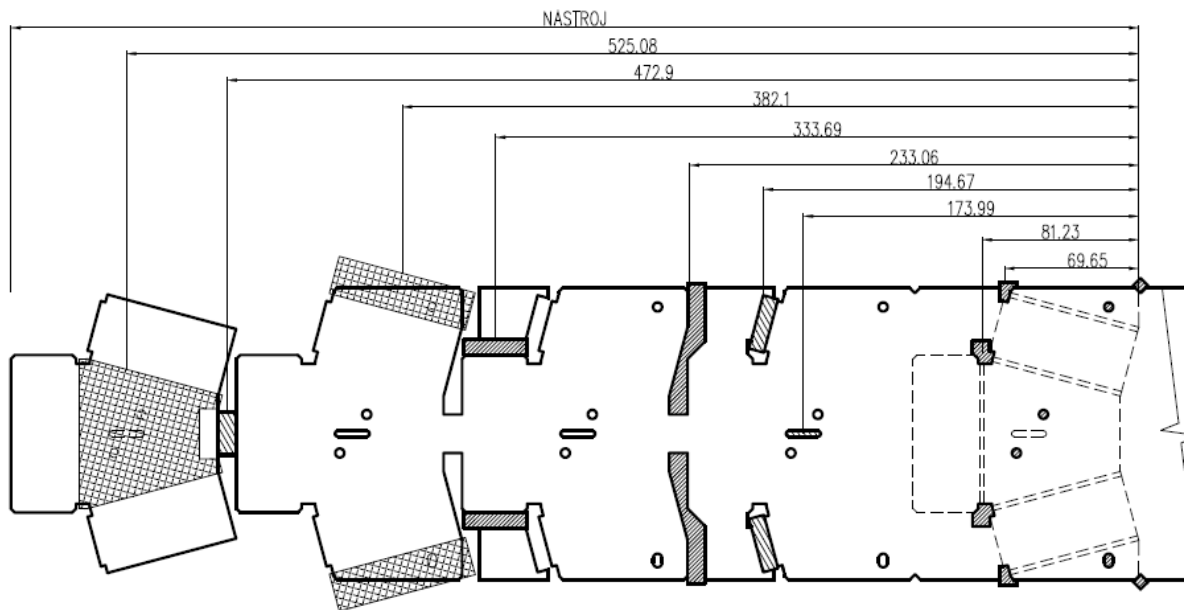
$$F_L = (F_c + F_{vyh}) \cdot 1,1 = (1211,5 + 10,6) \cdot 1,1 = \underline{1\ 344,3} [kN]$$

4.6 Výpočet polohy těžiště

Poloha těžiště sil dle rovnice 2.44, schematicky naznačeno na obrázku č. 24:

$$\begin{aligned} F_c \cdot x_c &= \sum (F_i \cdot x_i) \\ F_c \cdot x_c &= 3 \cdot F_{s1} \cdot 43,6 + F_{s2} \cdot 174 + F_{s3} \cdot 15,6 + 2 \cdot F_{s4} \cdot (-1) + 2 \cdot F_{s5} \cdot 68,6 + 2 \cdot F_{s6} \cdot 80,3 \\ &\quad + 2 \cdot F_{s7} \cdot 194,7 + 2 \cdot F_{s8} \cdot 231,3 + 2 \cdot F_{s9} \cdot 333,7 + F_{s10} \cdot 472,9 \\ &\quad + 2 \cdot F_{o11} \cdot 382,1 + (F_{o12} + F_{vyh}) \cdot 517,6 \end{aligned}$$

$$x_c = \underline{223,6} [mm]$$



Obr. 24 Rozměry pro výpočet těžiště celkové tvářecí síly.

4.7 Výpočet rozměrů funkčních částí nástroje

Střížná vůle:

$$z = 0,0021 \cdot s \cdot \sqrt{k_s} = 0,0021 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{520} = 0,0718 [mm]$$

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,0718 = \underline{0,144} [mm]$$

Rozměry střížníků se vypočítávají ze vzorců 2.49 až 2.53, v praxi se však zjednodušuje výpočet tak, že se použije nominální rozměr stříhaného tvaru. Toleranční pole rozměrů a tvarů řešené součásti tento zjednodušený přístup umožňuje.

Pro děrování se vychází z rozměru střížníku a pomocí vůle se zjistí rozměry střížnice (týká se to střížníků 1, 2 a 3), u vystřihování se vychází z rozměru střížnice a analogicky se dopočítá střížník (všechny ostatní). Základní výpočty pro děrování, kdy se vychází ze vzorců z kapitoly 2.6.1 a normy ČSN 22 6015 (P_u je dáno tolerancí vystřihovaného rozměru):

$$P_o = 0,8 \cdot P_u = 0,8 \cdot 0,2 = \underline{0,160} [mm]$$

$$d_{k1} = (d_{min} + P_o) - p_k$$

$$d_{k1} = (4,5 + 0,160) - 0,054 = \underline{4,66 - 0,054} [mm]$$

$$d_{k2x} = (2,9 + 0,160) - 0,054 = \underline{3,06 - 0,054} [mm]$$

$$d_{k2y} = (17,9 + 0,160) - 0,054 = \underline{18,06 - 0,054} [mm]$$

$$d_{k3x} = (6,9 + 0,160) - 0,054 = \underline{7,06 - 0,054} [mm]$$

$$d_{k3y} = d_{k1}$$

Rozměry odpovídajících střížnic:

$$D_{s1} = (d_{k1} + v_{min}) + p_s$$

$$D_{s1} = (4,66 + 0,144) + 0,035 = \underline{4,804 + 0,035} \text{ [mm]}$$

$$D_{s2x} = (3,06 + 0,144) + 0,035 = \underline{3,204 + 0,035} \text{ [mm]}$$

$$D_{s2y} = (18,06 + 0,144) + 0,035 = \underline{18,204 + 0,035} \text{ [mm]}$$

$$D_{s3x} = (7,06 + 0,144) + 0,035 = \underline{7,204 + 0,035} \text{ [mm]}$$

$$D_{s3y} = D_{s1}$$

Rozměry střížnic (vystřihování vnějších rozměrů):

$$D_{s4} = (D_{max} - P_o) + p_s = (5,6 - 0,160) + 0,035 = \underline{5,44 + 0,035} \text{ [mm]}$$

$$D_{s5x} = (8,9 - 0,160) + 0,035 = \underline{8,74 + 0,035} \text{ [mm]}$$

$$D_{s5y} = (10,59 - 0,160) + 0,035 = \underline{10,43 + 0,035} \text{ [mm]}$$

$$D_{s6x} = (11,45 - 0,160) + 0,035 = \underline{11,29 + 0,035} \text{ [mm]}$$

$$D_{s6y} = (11,83 - 0,160) + 0,035 = \underline{11,67 + 0,035} \text{ [mm]}$$

$$D_{s7x} = (8,1 - 0,160) + 0,035 = \underline{7,94 + 0,035} \text{ [mm]}$$

$$D_{s7y} = (28,7 - 0,160) + 0,035 = \underline{28,54 + 0,035} \text{ [mm]}$$

$$D_{s8x} = (67,73 - 0,160) + 0,035 = \underline{67,57 + 0,035} \text{ [mm]}$$

$$D_{s8y} = (18,61 - 0,160) + 0,035 = \underline{18,45 + 0,035} \text{ [mm]}$$

$$D_{s9x} = (32,9 - 0,160) + 0,035 = \underline{32,74 + 0,035} \text{ [mm]}$$

$$D_{s9y} = D_{s7y}$$

$$D_{s10x} = (9,66 - 0,160) + 0,035 = \underline{9,5 + 0,035} \text{ [mm]}$$

$$D_{s10y} = (22,1 - 0,160) + 0,035 = \underline{21,94 + 0,035} \text{ [mm]}$$

Rozměry odpovídajících střížníků (vystřihování):

$$d_{k4} = (D_{s4} - v_{min}) - p_k = (5,44 - 0,144) - 0,054 = \underline{5,296 - 0,054} \text{ [mm]}$$

$$d_{k5x} = (8,74 - 0,144) - 0,054 = \underline{8,596 - 0,054} \text{ [mm]}$$

$$d_{k5y} = (10,43 - 0,144) - 0,054 = \underline{10,286 - 0,054} \text{ [mm]}$$

$$d_{k6x} = (11,29 - 0,144) - 0,054 = \underline{11,146 - 0,054} \text{ [mm]}$$

$$d_{k6y} = (11,67 - 0,144) - 0,054 = \underline{11,526 - 0,054} \text{ [mm]}$$

$$d_{k7x} = (7,94 - 0,144) - 0,054 = \underline{7,796 - 0,054} \text{ [mm]}$$

$$d_{k7y} = (28,54 - 0,144) - 0,054 = \underline{28,396 - 0,054} \text{ [mm]}$$

$$d_{k8x} = (67,57 - 0,144) - 0,054 = \underline{67,426 - 0,054} \text{ [mm]}$$

$$d_{k8y} = (18,45 - 0,144) - 0,054 = \underline{18,306 - 0,054} \text{ [mm]}$$

$$d_{k9x} = (32,74 - 0,144) - 0,054 = \underline{32,596 - 0,054} \text{ [mm]}$$

$$d_{k9y} = d_{k7y}$$

$$d_{k10x} = (9,5 - 0,144) - 0,054 = \underline{9,356 - 0,054} [mm]$$

$$d_{k10y} = (21,94 - 0,144) - 0,054 = \underline{21,796 - 0,054} [mm]$$

Ohybníky tvaru U je potřeba počítat odpružení mírně upraveným vzorcem (β_U), zavádí se koeficient k_o . [12]

$$k_o = \frac{R_o}{s} = \frac{1}{1,5} = \underline{0,667} [-]$$

$$\tan \beta_U = 0,75 \frac{l_m}{k_o \cdot s} \frac{Re}{E} = 0,75 \frac{(3,5 + 2,25) \cdot 250}{0,667 \cdot 1,5 \cdot 2100} = \frac{1078,13}{2101,05} = \underline{0,513} [-]$$

$$\beta_U = \tan^{-1}(0,513) = \underline{27,2} [^\circ]$$

Z výpočtu vyplývá, že materiál disponuje velkým odpružením. K zabránění odpružení se při ohybu použije vůle menší než tloušťka materiálu a násobně vyšší síla (viz kapitola 4.5), než ta, která vznikla prostým výpočtem. Dojde tedy ke kalibraci ohýbaných částí.

5 NÁVRH KONSTRUKCE NÁSTROJE

Koncepce výroby popsané v předchozí kapitole udává směr konstrukci nástroje. Rozměry se tedy odvíjí od postupu tváření a vypočtené střížné mezery. Pro návrh nástroje teda bude uvažována možnost 1 (dle obrázku č. 20) a s ní souvislé výpočty. Postupový nástroj bude čítat 5 kroků, ve kterých dojde ke kompletní výrobě z pásu plechu až po hotový výrobek.

5.1 Základová, upínací a kotevní deska

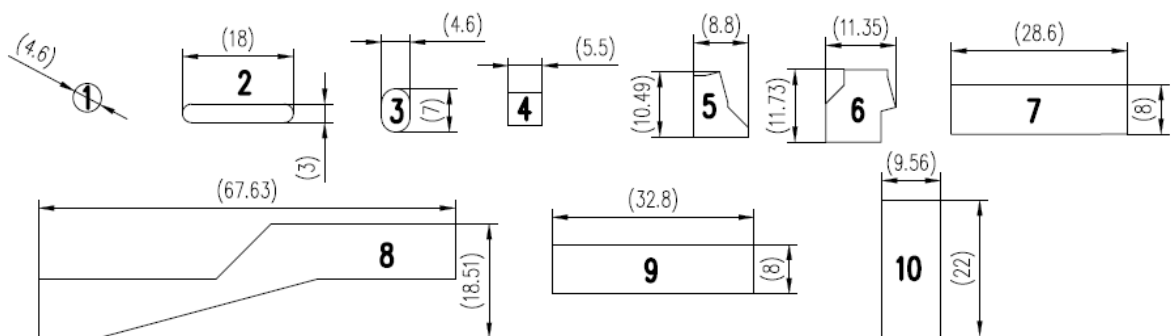
Všechny budou vyrobeny z oceli třídy 11. Upínací deska slouží k upnutí nástroje do stroje a jako opora pro činné nástroje. Kotevní pak kotví všechny střížníky, ohybníky a hledáčky.

5.2 Vodící deska a stírací deska

Vzhledem k vysazení nástrojů je žádoucí použití vodící desky. S ohledem na poslední krok (ohýbání), je vhodné zajistit stírací funkci nástroje. Materiálem je ocel 11 500.

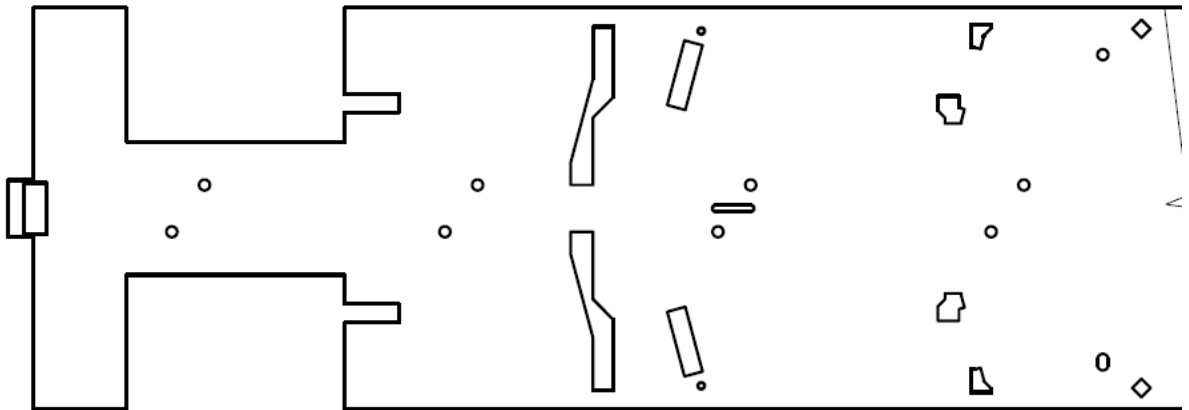
5.3 Střížníky a střížnice

Jsou zhotovené z nástrojové oceli. Rozměry jsou založeny na výpočtech a stanoviscích z kapitoly 4.7 a ČSN 22 6015. Vybrané střížníky blíže specifikují technické výkresy. Pro výrobu součásti je navrženo několik střížníků, vesměs se jedná o tvarové speciály. Ačkoli je výhodné využít normalizovaných střížníků, tvar této součásti a koncepce výroby tomu nejsou příliš nakloněny. Jejich průřezy a rámcové rozměry jsou na obrázku 25.



Obr. 25 Orientační rozměry střížníků.

Střížnice je vyrobena z nástrojové oceli, případně může být vyrobena z oceli třídy 11, kdy funkční části jsou vložkami z nástrojové oceli. Její rozměry jsou vyvozeny od rozměrů střížníků a tvar je dán kroky postupového lisování. Nákres střížnice je k nahlédnutí na následujícím obrázku. Její finální podobu, rozměry a tolerance pak upřesňuje její technický výkres v příloze. Pro tuto výrobu je zvolena střížnice s fazetkami.



Obr. 26 Horní pohled na střížnici.

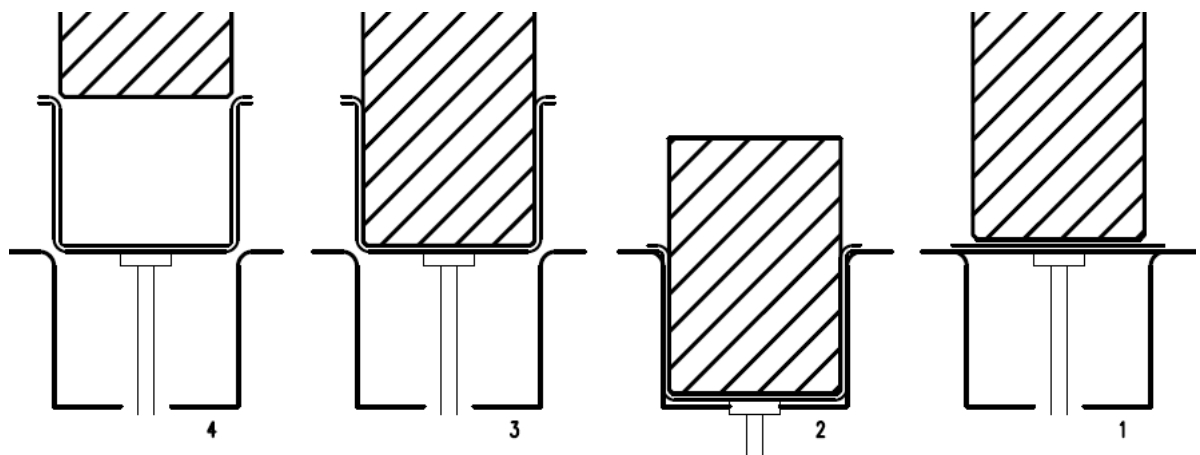
5.4 Ohybníky a ohybnice

Dle kapitoly 2.6.3 se teda pro tuto součást navrhnu vhodné ohybníky. Rádus hrany ohybníku bude 0,9 mm. Ohybnice bývají skládané s vyhazovačem i bez něj. Často se vyrábí z ocelí 11 500, 11 600 či uhlíkových nástrojových ocelí (vločky).

Dle teorie z kapitol 2.5 a 2.6.3 vůle mezi ohybníkem a ohybnicí m_0 bude zvolena na hodnotu 1,48 mm. Vyrobená bude z oceli třídy 11 600, funkční částí bude tvořit vložka z nástrojové oceli. Rádus ohybové hrany r_2 činí 3,5 mm. Hloubka ohybnice se volí o 3 mm vyšší než délka ramene. Pro ohyby 1 a 4 činí 24,5 mm, pro zbývající ohyby 38,5 mm. Tento krok zároveň bude muset být opatřen vyhazovačem.

5.5 Zdvih nástroje

Hodnota nejdelšího ramene bude použita jako referenční pro návrh zdvihu, jelikož na něj bude mít největší dopad. Je potřeba funkční části nástroje dostat ve správný moment do kontaktu se součástí a zároveň nezpůsobit kolizi s jinými částmi postupového nástroje ať už při lisování či při posouvání plechu. Specifickým tvarem této součásti je dáno, že zdvih musí být alespoň dvojnásobkem délky ramene ohybu, aby došlo k ohybu i následném umožnění výtvarku opustit nástroj (viz obrázek 27).



Obr. 27 Ilustrace odvození zdvihu z ohýbání.

5.6 Vodící lišty, dorazy a hledáčky, vyhazovače

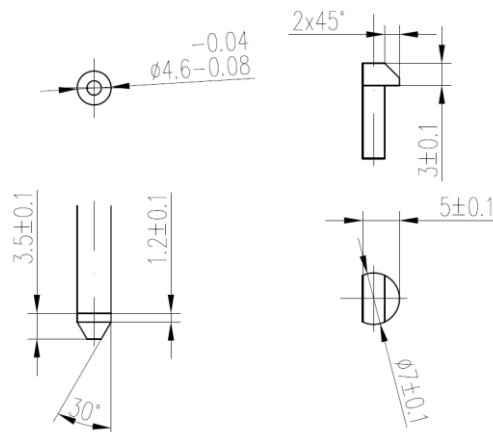
Vodící lišty slouží ke správnému zavedení pásu do nástroje i jeho vedení v něm. V tomto případě rozměr vymezený lištami odpovídá šířce rozvinuté součásti. Není zde potřeba bočních

můstků okolo součásti, jelikož se počítá s vyřezáním pásu na vodním paprsku. Ten zajistí dostatečnou rozměrovou přesnost, aby správným vymezením jeho polohy došlo ke zhotovení jakostní součásti. Na lištách je potřeba udělat vybrání na některé nástroje a dorazy.

Zavedení plechu ještě přispěje načínací doraz, který je umístěn tak, aby zastavil plech na prvním kroku. V dalším kroku je použito pevných dorazů.

V návrhu nástroje se počítá se zahledáváním na kruhové otvory o průměru 4,6 mm. Hledáčky jsou prakticky v každém kroku, kdy jsou tyto díry již vystříženy.

V posledním kroku je vyhazovač, který zajistí vynesení součásti z ohybnice zpět do roviny stříhu. Plechem pak bude výrobek odsunut mimo nástroj po skluzu.



Obr. 28 Hledáček (vlevo), pevný doraz (vpravo).

6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Klíčem k posouzení situace z pohledu ekonoma, je úvaha o životním cyklu jak montážního celku, tak v některých ohledech hlavně posuzovaného komponentu jako takového. Zde se nabízí srovnání v úvodu zmiňovaným digitálním světem v kontrastu s dalšími obory strojírenství. Zatímco počítačové technologie svou dynamikou výrazně utíkají většině dalších oborů, ostatní odvětví, i přes svou značnou závislost na IT systémech, jsou ve svém pokroku výrazně pomalejší.

Připodobnění tiskařství k leteckému či automobilovému průmyslu se může zdát pošetilým činem, avšak jisté společné prvky se dají vypořádat. Z praxe leteckého strojírenství je dobře známo, že jednotlivé výrobky mohou, bez větších úprav či v naprosto původním konstrukčním řešení, setrávat v provozu i několik desetiletí. Samozřejmě i díky smlouvám o dostupnosti servisu a náhradních dílů. V automobilovém průmyslu je životní cyklus výrobku zhruba 7 let. I zde však spousta součástí zůstává v nezměněné podobě i řadu životních cyklů. Tiskařské stroje se dají spíše přirovnat k automobilovému průmyslu, avšak je dobře známo, že některé součásti se prakticky nemění i po desetiletí.

Ještě se nabízí propojení, v tomto případě doslovné, s výpočetními technologiemi. Důležitou je metoda šíření informace a ačkoli se přidávají moderní komunikační trendy, nezřídka se mezi jednotlivými senzory a menšími montážními celky, které si přenášejí informace, používají v IT již dávno *zapomenuté* zastaralé konektory či protokoly.

Zpracovávaná součást patří do existujícího stroje již několik let. Přesto však nic nenavzdává tomu, že by mělo dojít k jejímu brzkému pozměnění. Je však potřeba na fakt jejího stáří myslet, při výsledném rozhodování o způsobu výroby a návratnosti investovaných prostředků.

6.1 Rozvržení a využití materiálu

Nejvhodnější s ohledem na množství odpadu je použití svitku plechového pásu jako vstupního materiálu. Pro zpracovávanou součást však nedosahuje výrobní množství takových hodnot, aby se užití svitku vyplatilo. Navyšuje skladové zásoby a spotřeba jednoho svitku by trvala i několik let. Nehledě na to, že pro použití svitku je potřeba mít k dispozici odvinovací a rovnací zařízení.

Tab. 7 Materiál – plechové tabule.

Označení	Rozměr tabule	Hmotnost tabule	Cena [Kč/kg]
Malý formát	2000 x 1000 x 1,5	23,4	77,61
Střední formát	2500 x 1250 x 1,5	36,6	65,95
Velký formát	3000 x 1500 x 1,5	52,7	59,37

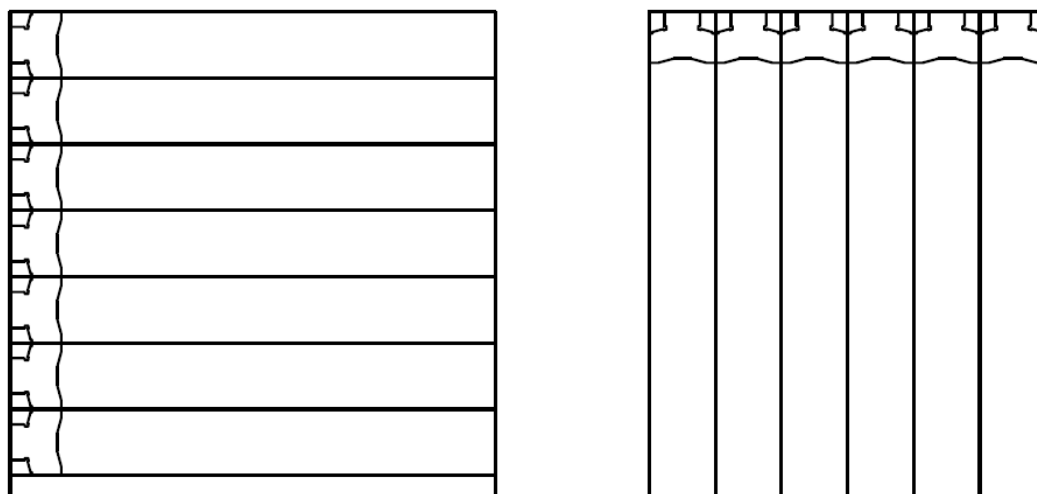
Rozvržení tabule vychází z délky jednoho kroku, všech kroků lisování navýšené a část pro zavedení do nástroje. V případě této součásti je úhrnná délka kroků 585,15 mm, připočtením 50 mm pro zavedení do nástroje tedy vznikne délka nutná ke zhotovení prvního kusu. Jeden krok je 117,03 mm dlouhý. Výpočet množství kusů na pásu je proveden dle rovnic 3.8, 3.9 a vzorce 3.10. Výsledek je uveden v tabulce 8.

Tab. 8 Využití plechové tabule.

Označení	Směr	x [ks]	y [ks]	n _t [ks]	Využití tabule [ks/kg]
Malý formát	Na délku	13	6	78	3,33

Malý formát	Na šířku	4	13	52	2,22
Střední formát	Na délku	17	8	136	3,71
Střední formát	Na šířku	6	16	96	2,62
Velký formát	Na délku	21	9	189	3,58
Velký formát	Na šířku	8	19	152	2,88

Z výše uvedeného vychází volba nejvhodnější tabule pro rozřezání na pásy k zavádění do nástroje. Posouzení je nejlépe provádět podle relace množství kusů ku hmotnosti tabule, potažmo ceně tabule (též Kč/kg). K úplnému posouzení výhodnosti určité varianty, se musí ještě vzít na zřetel náklady na rozřezání a manipulaci s materiálem, které se podle rozměru tabule budou mírně lišit – rozdílná pracnost.



Obr. 29 Rozstřížení tabule.

Výsledkem je volba nejnižších materiálových nákladů – tedy střední formát rozřezaný podélně – kdy se na jednu tabuli vejde 8 pásů o délce pro zhotovení 17 ks. Celkem se zpracováním jedné tabule získá až 136 kusů. To znamená 3,71 ks na kilogram plechu.

6.2 Výpočet nákladů a kalkulace

Materiálové náklady se vypočtou na základě využití plechu a ceny za kilogram tabule. Z předchozího výpočtu je známo, že na 1 kg plechu středního formátu o ceně 65,95 Kč/kg se vejde 3,71 kusů součástí. Je tedy zřejmé, že náklady na materiál pro výrobu 136 kusů činí jsou stejné jako náklady na nákup jedné tabule. Pro největší efektivitu je nejlépe vyrábět násobky 136.

$$C_{pt} = m_{pt} \cdot C_{1kg} = 36,6 \cdot 65,95 = \underline{2413,77} \text{ [Kč]}$$

$$N_{pm} = \frac{C_{pt}}{n_t} = \frac{2413,77}{136} = \underline{17,75} \text{ [Kč/ks]}$$

Mzdové náklady vycházejí z doby zpracování výrobní dávky. Zatímco pro řezání vodním paprskem a zpracování na lisu jsou mzdové náklady obsluhy totožné, kontrolor kvality má mzdu mírně vyšší. Náklady firmy jsou vyčísleny na 135 Kč/hod, respektive 170 Kč/hod.

Stanovení nákladů pro řezání vodním paprskem se odvíjí od výkonu a rychlosti stroje. S ní přímo souvisí normohodiny pro rozřezání tabule. Z tabulky č. 8 je zřejmé, že je potřeba tabuli

rozřezat na 8 řad. Za normálních okolností by to znamenalo 7 řezů o délce 2 m, jelikož však po vzniká odpadní pruh, jedná se o 8 řezů. Pro dostupný stroj o příkonu 36 kW a rychlosti řezání 11 m/min, výrobní čas činí 1,46 minuty pro rozřezání jedné tabule. Seřizovací čas operace pak činí 12 minut. Hodinové náklady stroje jsou 750 Kč, lze tedy provést následující výpočet.

$$N_{tpaprsek} = N_{nh} \cdot N_s = \left(\frac{12 + 1,46}{60} \right) \cdot 750 = \underline{168,25} \text{ [Kč]}$$

Pro lisování platí hodinová sazba 600 Kč. Seřizovací čas dávky je 10 minut, výrobní čas pak 34 vteřin pro zpracování jednoho pásu, zavedení nového pásu zabere 20 vteřin. Pro zpracování tabule tedy platí:

$$N_{tlis} = N_{nh} \cdot N_s = \left(\frac{10 + 8 \cdot \frac{(20 + 34)}{60}}{60} \right) \cdot 600 = \underline{172} \text{ [Kč]}$$

Přímé mzdy:

$$N_{mz} = N_{hs} \cdot \dot{U}P = 115 \cdot 1,34 = \underline{154,1} \text{ [Kč/hod]}$$

Základní náklady práce na 1 tabuli:

$$\begin{aligned} N_{cp} &= N_{tpaprsek} + N_{tlis} + t_h \cdot (N_{mz} + FN) \\ &= 168,25 + 172 + \left(\frac{30 + 1,46 + 30 + 8 \cdot \frac{(20 + 34)}{60}}{60} \right) \cdot (154,1 + 1250) \\ &= 340,25 + 1,144 \cdot 1404,1 = \underline{1946,54} \text{ [Kč]} \end{aligned}$$

Základní náklady na 1 tabuli:

$$N_{ct} = N_{cp} + C_{pt} = 1946,54 + 2413,77 = \underline{4360,31} \text{ [Kč]}$$

Náklady na 1 ks:

$$N_j = \frac{N_{ct}}{n_t} = \frac{4360,31}{136} = \underline{32,06} \text{ [Kč]}$$

6.3 Výpočet bodu zvratu

Pro výpočet bodu zvratu je nutno znát jednotkovou cenu výroby (výše vypočtena z dávky dané zpracováním jednoho plechu), prvotní investice (stroj, nástroj), náklady na údržbu nástroje (vč. Obměňování funkčních částí) a v neposlední řadě pořizovací náklady na nákup či výrobu nástroje.

Z konstrukce nástroje vychází kvalifikovaný odhad na pořizovací náklady ve výši 120 000 Kč. Ostatní náklady jsou vypočteny. Prodejní cena byla stanovena na 213,42 Kč. Předpověď ročního odbytu činí 1000 ks minimálně v následujících 5 letech. Dle obrázku č. 15 a vzorce 3.13 lze provést výpočet bodu zvratu:

$$n_x = \frac{I}{C_v - N_j} = \frac{120000}{213,42 - 32,06} = \frac{120000}{181,36} = \underline{661,7} \text{ [ks]}$$

$$t_r = \frac{q}{q_r} = \frac{661,7}{1000} = \underline{0,6} \text{ [roky]}$$

Pro jeho větší přesnost je žádoucí vypočítat i náklady na údržbu nástroje a výměnu opotřebovaných částí, který zde nefiguruje.

ZÁVĚR

Řešeným úkolem byla výroba součásti Waste Channel Modul z plechu. Stanovený cíl – návrh technologie výroby, návrh konstrukce nástroje se tedy podařil do jisté míry splnit. Celkem byly navrženy 4 varianty výroby (viz kapitola 1.3), z nichž došlo k výběru výroby za pomoci lisování v postupovém nástroji.

Sestavení technologického postupu a navržení variant zavádění do nástroje předcházely výpočet rozvinutého tvaru. V nástroji se součást postupně vystřihne a zhotoví se ohyby. Tyto úkony byly rozvrženy do celkového počtu 5 kroků. Dle vytvořených kroků byla navržena možná konstrukce nástroje. Zde vzniká prostor k dalším úvahám, zda-li nepozměnit navržené řešení pro lepší efektivitu a hlavně vhodnější konstrukci nástroje.

Byla vypočtena celková síla potřebná k lisování, její hodnota je 1344,3 kN a spočítána poloha jejího působení (viz kapitola 4.6). Výpočtem rozměrů činných částí nástroje v kapitole 4.7 bylo možno vytvořit technické výkresy vybraných součástí nástroje.

V posledním kroku na základě předpokládaného odbytu 1000 ks/rok, došlo k výpočtu spotřeby materiálu (3,31 kg/ks) a základních výrobních nákladů. Jednicový náklad činí 32,06 Kč. Při prodejní ceně stanovené na 213,42 Kč, byl vypočten bodu zvratu. Jeho hodnota dosahuje 661,7 kusů, od 662. výrobku se tedy již může hovořit o zisku. K návratnosti investice do pořízení nástroje dojde za necelý 0,6 roku (tedy necelých 8 měsíců).

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ALTAN, Taylan a A. Erman TEKKAYA. *Sheet metal forming - Fundamentals*. Materials Park, Ohio: ASM International, 2012. ISBN 978-162-1983-040.
2. ALTAN, Talyan a A. Erman TEKKAYA. *Sheet metal forming - Processes and applications*. Materials Park, Ohio: ASM International, 2012. ISBN 978-162-1983-057.
3. BAREŠ, Karel, Karel DÍTĚ, Vladimír HAŠEK, et al. *Lisování*. Praha: SNTL, 1971, 544 s.
4. BOLJANOVIC, Vukota. *Metal shaping processes - Casting and molding, particulate processing, deformation processes, and metal removal*. New York: Industrial Press, 2010. ISBN 978-161-3448-557.
5. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. 2nd ed. New York: Industrial Press, 2014, 217 s. ISBN 978-1-5231-0152-8.
6. ČSN 22 6015. *Lisovací nástroje: Stříhadla a střížné vřely: Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1975.
7. ČSN 41 7240. *Ocel 17 240 Cr-Ni*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1972.
8. ČSN EN ISO 9445. *Úzké a široké pásy, plechy a pruhy z korozivzdorné oceli válcované kontinuálně za studena - Mezní úchylky rozměrů a tolerance tvaru*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
9. DOLÁK, Martin. *Výroba součástí "Část krytu CT"*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.
10. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 5. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.
11. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ, Milan HORÁČEK, Ladislav ZEMČÍK, Bohumil KANDUS, Jaroslav KUBÍČEK, Evžen VYPLAŠIL a Ladislav ŽÁK. *Technologie II*. 3. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
12. DVOŘÁK, Roman, František TATÍČEK a Tomáš PLIVOUSEK. *Akademie tváření: Stříhání*. *MM Spektrum* [online]. 2010, 17.05.2010, **2010**(6), 72 [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
13. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
14. FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Konstrukční oceli*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1996, 261 s. ISBN 80-858-6795-8.
15. FÜRBAACHER, Ivan, Karel MACEK, Josef STEIDL, et al. *Lexikon technických materiálů: se zahraničními ekvivalenty*. Praha: Verlag Dashöfer, 2000, 4 sv. (na volných listech). ISBN 80-862-2902-5.
16. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: Mechanics and metallurgy*. 2nd ed. Englewood Cliffs: PTR Prentice Hall, 1993, 364 s. ISBN 01-358-8526-4.
17. HRUBÝ, Jiří. *Tváření kovů - analýza procesů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 1993. Dostupné také z: <http://homen.vsb.cz/~hru45/Texty/TvareniKovuAnalyzaProcesu.pdf>

18. JUROVÁ, Marie. *Výrobní procesy řízené logistikou*. Brno: BizBooks, 2013, 260 s. ISBN 978-80-265-0059-9.
19. KNEIDL, Pravoslav. *Z historie evropské knihy: po stopách knih, knihtisku a knihoven*. Praha: Svoboda, 1989. ISBN 80-205-0093-6.
20. KOČKA, Jiří. *Výroba konektoru*. Brno, 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.
21. Korozivzdorná ocel - nerez. *ALFUN* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/produkty/nerez/korozivzdorna-ocel-nerez>
22. KOTOUČ, Jiří, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Luděk MÁDLE. *Tvářecí nástroje*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993. ISBN 80-010-1003-1.
23. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5. upravené vydání. Úvaly: Albra, 2011, 927 s. ISBN 978-80-7361-081-4.
24. MIELNIK, Edward M. *Metalworking science and engineering*. New York: McGraw-Hill, 1991. ISBN 00-704-1904-3.
25. NEREZOVÁ OCEL 1.4301 - INOX, spol. s r. o. *Prodej nerezového hutního materiálu - trubek, jablek, tyčí, plechů, příslušenství - INOX, spol. s r. o.* [online]. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/nerezova-ocel-14301.html>
26. SEMIATIN, S.L., ed. *ASM Handbook, Volume 14A - Metalworking: Bulk Forming*. Materials Park, Ohio: ASM International, 2009. ISBN 978-1-61503-254-9.
27. SMITH, Edward H., ed. *Mechanical engineer's reference book*. 12th ed. Oxford, England: Elsevier, 1998. ISBN 978-008-0523-989.
28. SYNEK, Miloslav. *Manažerská ekonomika*. 5., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2011. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3494-1.
29. The history of printing: The evolution of print from Gutenberg to now. *Prepressure.com: Prepress, design, fonts, PDF, Postscript and print* [online]. [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: <https://www.prepressure.com/printing/history>
30. X6CrNi18-10 (1.4301) austenitické. *Bolzano* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x6crni18-10-austeniticke>
31. ZDRAVECKÁ, Eva a Ján KRÁL. *Základy strojárskiej výroby*. Vyd. 2. Košice: Elfa, 2004. ISBN 80-890-6672-0.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

a	[mm]	Hrana obecného prizmatu
A	[%]	Tažnost
A_o	[J]	Práce vykonaná ohýbací silou
A_s	[J]	Práce vykonaná střížnou silou
b	[mm]	Hrana obecného prizmatu
c	[-]	Koeficient typu stříhání
C_{1kg}	[Kč]	Cena 1 kg materiálu
C_e	[Kč]	Cena energie
C_{pt}	[Kč]	Cena plechové tabule
C_v	[Kč]	Cena výrobku
d_k	[mm]	Průměr střížníku
d_{min}	[mm]	Minimální průměr střížníku
D	[mm]	Průměr
D_s	[mm]	Průměr střížnice
D_{max}	[mm]	Maximální průměr střížnice
e	[mm]	Hrana obecného prizmatu
F_C	[N]	Celková síla
F_k	[N]	Kalibrovací síla
F_o	[N]	Ohýbací síla
F_{omax}	[N]	Maximální ohýbací síla
F_p	[N]	Přidržovací síla
F_s	[N]	Střížná síla
F_{smax}	[N]	Maximální střížná síla
F_U	[N]	Ohýbací síla (tvar U)
F_{vyh}	[N]	Vyhazovací síla
F_V	[N]	Ohýbací síla (tvar V)
FN	[Kč]	Fixní náklady
h	[mm]	Výška nátláčné hrany
h_o	[mm]	Výška zdvihu ohýbadla
h_n	[h]	Ukazatel nákladovosti
I	[Kč]	Investice

k, k_s	[-]	Střížný odpor
k_o	[-]	Koeficient ohýbání
l	[mm]	Délka ramene
l_o	[mm]	Délka ohnutého úseku (NP)
l_h	[mm]	Délka nátláčné hrany
l_m	[mm]	Součet rádia ohybnice a vnějšího rádia součásti
m	[mm]	Mezera
m_0, m_n	[-]	Koeficient tažení pro první, n-tý tah
m_o	[-]	Koeficient průběhu ohýbací síly
m_{opt}	[ks]	Optimální výrobní dávka
m_{pt}	[kg]	Hmotnost plechové tabule
n	[-]	Součinitel otupení nože
n_t	[ks]	Počet kusů na jedné tabuli
n_x	[ks]	Počet kusů
M_o	[Nm]	Ohybový moment
n_{hod}	[hod]	Počet potřebných hodin
n_s	[-]	Počet potřebných směn
n_{zp}	[-]	Koeficient zpevnění
N	[Kč]	Náklady
N_e	[Kč]	Náklady na energii
N_f	[Kč]	Fixní náklady na výrobní dávku
N_{hs}	[Kč]	Náklady (hodinová sazba pracovníka)
N_j	[Kč]	Jednicové náklady
N_{pm}	[Kč]	Náklady na přímý materiál
NP	[mm]	Neutrální plocha
p	[MPa]	Měrný tlak
p_k	[mm]	Tolerance střížníku
p_s	[mm]	Tolerance střížnice
P_o	[mm]	Opotřebení nástroje
P_s	[kW]	Příkon stroje
P_u	[mm]	Celkové opotřebení
q	[ks]	Počet výrobků

q_r	[ks]	Počet výrobků za rok
Q	[Kč]	Vyjádření produkce
Q_{skl}	[Kč]	Souhrnné náklady skladování
r	[-]	Koeficient normálové anizotropie
R	[mm]	Rádus
R_e	[MPa]	Mez kluzu
R_m	[MPa]	Mez pevnosti
R_{min}	[mm]	Minimální rádus ohybu
R_{max}	[mm]	Maximální rádus ohybu
R_o	[mm]	Rádus ohybu (vnitřní)
s	[mm]	Tloušťka materiálu
S_o	[mm ²]	Kalibrovaná plocha
S_s	[mm ²]	Střižná plocha
$S_{sč}$	[mm ²]	Plocha součásti
t_r	[roky]	Návratnost investice
t_s	[hod]	Délka směny
T	[Kč]	Tržby
ÚP	[-]	Úhrn pojištění
v	[mm]	Střižná (ohýbací) vůle
v_{min}	[mm]	Minimální vůle
VN	[Kč]	Variabilní áklady
W	[-]	Modul průřezu
x	[mm]	Posunutí NP
x_i	[mm]	Vzdálenost působíště síly
x_c	[mm]	Vzdálenost působíště celkové síly
z_r	[-]	Součinitel rozšíření
z_z	[-]	Součinitel ztenčení
Z	[-]	Kontrakce
α	[°]	Úhel ohybu
β	[°]	Úhel odpružení
β	[°]	Úhel odpružení (ohýbání tvaru U)
γ	[°]	Úhel ohnutého úseku

ε	[-]	Deformace v ose
ε_c	[-]	Mezní přetvoření
ρ	[-]	Rádus NP
σ	[MPa]	Normálové napětí
τ, τ_s	[MPa]	Smykové napětí
φ	[-]	Skutečná deformace

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Různé součásti zhotovené tvářením. [9].....	9
Obr. 2 3D model řešené součásti.	10
Obr. 3 Základní rozměry zpracovávané součásti.	11
Obr. 4 Varianta 1 – zleva výstup z prvního a druhého stroje.	11
Obr. 5 Varianta 2 – zleva výstup z prvního, druhého a třetího stroje.	12
Obr. 6 Varianta 3 – zleva výstup z prvního a druhého stroje.	12
Obr. 7 Varianta 4 – zleva výstup z prvního a druhého stroje.	12
Obr. 8 Fáze stříhání (zobrazeno použití nátláčné hrany F_p). [9, 11].....	18
Obr. 9 Tvar stříhu a průběh síly. [19]	19
Obr. 10 Průběh sil a vykonaná práce. [9, 10]	20
Obr. 11 Schéma ohýbání. [9]	23
Obr. 12 Změna průřezu ohnutého dílu. [9]	24
Obr. 13 Schéma ohýbání do tvaru U (vlevo) a V (vpravo). [9].....	25
Obr. 14 Součinitel ztenčení při ohýbání měkké oceli o 90°. [9].....	26
Obr. 15 Bod zvratu – lineární funkce. [28].....	36
Obr. 16 Bod zvratu – nelineární funkce. [28]	36
Obr. 17 Úprava hrany.	38
Obr. 18 Schéma pro výpočet rozvinutého tvaru součásti.	38
Obr. 19 Rozvinutý tvar a jeho hlavní rozměry.	40
Obr. 20 Varianty nástřihového plánu (zleva doprava 1-4).	41
Obr. 21 Jednotlivé kroky tvářecího procesu – jednodušší nástroje.	41
Obr. 22 Jednotlivé kroky tvářecího procesu – varianta pro konstrukci nástroje.	41
Obr. 23 Očíslování nástrojů pro výpočet tvářecích sil.....	42
Obr. 24 Rozměry pro výpočet těžiště celkové tvářecí síly.	44
Obr. 25 Orientační rozměry střižníků.	47
Obr. 26 Horní pohled na střižnici.	48
Obr. 27 Ilustrace odvození zdvihu z ohýbání.	48
Obr. 28 Hledáček (vlevo), pevný doraz (vpravo).	49
Obr. 29 Rozstřížení tabule.	51

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Základní vlastnosti a složení materiálu. [20, 29].....	10
Tab. 2 Hodnoty součinitele z_r . [9, 10].....	25
Tab. 3 Závislost koeficientu x a z_z na součiniteli k_o . [9, 10]	26
Tab. 4 Vlastnosti materiálu polotovarů [22].....	28
Tab. 5 Kalkulační vzorce. [28]	35
Tab. 6 Technologický postup.....	38
Tab. 7 Materiál – plechové tabule.	50
Tab. 8 Využití plechové tabule.	50

SEZNAM VÝKRESŮ

HG-25.9856-300	Waste Channel Modul
9856-NL-001	Postupový nástroj - sestava
9856-STE000	Střižnice
9856-STK05	Střižník 05
9856-STK06	Střižník 06
9856-STK08	Střižník 08
9856-OHK11	Ohybník 11
9856-OHE110	Ohybnice 11
9856-OHK12	Ohybník 12
9856-OHE120	Ohybnice 12

