



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH NÁSTROJE PRO VÝROBU PROLISŮ

DESIGN OF TOOL FOR LOUVERS PRODUCTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jaroslav Hejna

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Řiháček, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Jaroslav Hejna**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Jan Řiháček, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

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:

Návrh nástroje pro výrobu prolisů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh nástroje pro výrobu prolisů na těle dílce, který je součástí ventilace sila. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární rešerše i výpočty potřebné pro návrh a kontrolu nástroje. Vzhledem k povaze řešené problematiky se rovněž předpokládá využití numerické simulace.

Cíle diplomové práce:

- zhodnocení současného stavu výroby,
- rozbor možných výrobních metod,
- návrh nástroje včetně nezbytných technologických výpočtů,
- ověření funkčnosti nástroje provedením numerické simulace.

Seznam doporučené literatury:

BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. Technologია tvárnenia. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření. Plošné a objemové tváření. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.

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

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

LOGAN, Daryl L. A first course in the finite element method. United States: Cengage Learning, 2007, 808 s. ISBN 978-0-534-55298-6.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

HEJNA Jaroslav: Návrh nástroje pro výrobu prolisů.

Práce předkládá návrh nástroje na výrobu prolisů do dílce dna zemědělského sila z materiálu Dx51D. V řešební části jsou rozebrány technologie, které se při prolisování využívají, stříhání a tažení. Následující kapitola práce popisuje metody simulace. Dále je popsán vlastní návrh nástroje. Jeho princip vychází z nástrojů na vysekávací stroje. Horní polovina nástroje je tvořena svařencem, který se upíná do lisovacího stroje a do nějž jsou na spodní části namontovány funkční segmenty ve formě vložek. Spodní nástroj je složen z několika sešroubovaných desek, střížníků a přidržovací desky, která je umístěna na pružinách. Pro správný návrh nástroje jsou provedeny potřebné výpočty a vše je ověřeno simulací v programu ANSYS. Vedení nástrojů je realizováno čepy na krajích spodního nástroje. V technicko – ekonomickém zhodnocení je srovnána práce navrženého nástroje s ostatními možnostmi realizace prolisů.

Klíčová slova: Dx51D, prolis, stříhání, konstrukce nástroje, ohraňovací lis, simulace

ABSTRACT

HEJNA Jaroslav: Design of Tool for Louvers Production.

This thesis presents a tool design for production of embossments into the bottom part of the agricultural silo made of Dx51D material. The research analysis all technologies used for embossing, that is cutting and shallow drawing. This is followed by a chapter on simulation. The tool design itself is described. Its principle is based on tools for punching machines. The upper half of the tool is composed of a weldment to be clamped into pressing machine, into which are mounted functional parts in the form of inserts. The lower tool consists of several bolted plates, punches and a holding plate, which is located on the springs. In order to achieve correct design, necessary calculations were carried out and it was all confirmed by simulation in ANSYS. The two tool halves are guided by pins attached at the edges of the lower tool. The technical - economical evaluation compares the work of the proposed tool with other possibilities of embossing.

Keywords: Dx51D, louver, shearing, tool design, bending machines, simulation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HEJNA, Jaroslav. *Návrh nástroje pro výrobu prolisů* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/123983>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jan Řiháček.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 26.6.2020

.....
Bc. Jaroslav Hejna

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucímu své diplomové práce panu Ing. Janu Řiháčkovi, Ph.D. za vstřícný přístup, velmi cenné připomínky a rady ohledně zpracování mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat svým blízkým, přátelům a zejména rodině a přítelkyni za podporu při psaní této práce a během celého studia. Závěrem bych rád poděkoval zaměstnancům společnosti Technologické centrum a.s. za příjemnou spolupráci, podporu a cenné zkušenosti, které jsem díky této práci mohl získat.

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

	Str.
ÚVOD.....	9
1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU	10
1.1 Současný postup výroby součástí.....	11
1.2 Rozbor možností výroby prolisů	12
1.3 Zhodnocení a porovnání metod výroby.....	16
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ	18
2.1 Střížná vůle	19
2.2 Střížná síla a práce.....	20
2.3 Přesnost a jakost povrchu stříhaných ploch	21
2.4 Technologičnost stříhání	21
3 TECHNOLOGIE TAŽENÍ	23
3.1 Analýza tažení válcového výtažku.....	24
3.2 Tažná síla a tažná práce	24
3.3 Stanovení počtu operací	25
3.4 Tažná mezera	26
3.5 Volba přidržovače	27
3.6 Technologičnost tažení	27
4 TECHNOLOGIE VÝROBY PROLISŮ	28
4.1 Síla na prolisování.....	28
4.2 Práce při prolisování.....	29
5 NUMERICKÁ SIMULACE	30
5.1 Statické lineární a nelineární úlohy MKP	31
5.2 Realizace porušení materiálu v MKP	32
5.3 ANSYS	33
6 NÁVRH NÁSTROJE	34
6.1 Podstata funkce nástroje	34
6.2 Výpočtová část	35
6.3 Horní nástroj	39
6.4 Spodní nástroj	42
6.5 Ověření navrženého nástroje pomocí simulace	45
6.5.1 Tahová a smyková zkouška	45
6.5.2 Simulace odlehčení nástroje	49
6.6 Alternativní využití principu návrhu nástroje.....	56
7 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	58
ZÁVĚRY.....	62

Seznam použitých zdrojů
Seznam použitých symbolů a zkratk
Seznam obrázků
Seznam tabulek
Seznam příloh
Seznam výkresů

ÚVOD [1], [2], [3], [4]

Technologie tváření se zabývá procesy, při nichž dochází ke změnám tvaru výrobku nebo jeho mechanických vlastností. Pokud při tváření nedojde k podstatné změně tloušťky či průřezu součásti, tak se jedná z pravidla o plošné tváření. Sem patří zejména stříhání, ohýbání, tažení, rovnání atd. Pod procesy tažení, zejména mělkého tažení, lze taktéž zařadit výrobu prolisů.

Prolisy se, nejen ve strojírenských odvětvích využívají, již velice dlouho. Ať už z důvodů zvýšení pevnosti součásti, značení, nebo například změně jejich vzhledu. Prolisy lze také často vidět ve formě, že je jedna jeho část záměrně rozstřižena. Takto vznikne odvětrávací otvor o definované velikosti.

Tyto odvětrávací otvory jsou v současné době velmi hojně využívány v různých zařízeních od mikrovlnných trub až po rozvaděčové skříně. Velké využití také prolisy našly u kapot motorů amerických veteránů. Na obrázcích 1 jsou zobrazeny příklady využití odvětrávacích otvorů.

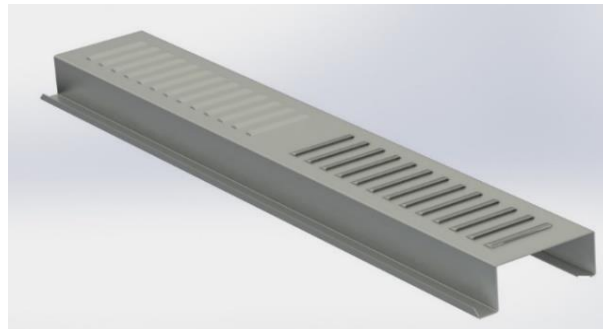


Obr. 1 Příklady využití odvětrávacích prolisů [5], [6], [7], [8]

1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU [9], [10], [11], [12]

Řešenou součástí je segment dna zemědělského sila. Je vyráběna již několik let firmou Technologické centrum a.s. a za dobu svojí životnosti již prošla řadou revizí. Jednou z těchto změn byl jiný počet žebér a jejich velikost. Model součásti je zobrazen na obrázku 2.

Výrobek se skládá do větších segmentů a dohromady vytváří dno zemědělského sila, respektive silážní věže. Dílce jsou naskládány do základního koryta se složitou sítí trubek pro rozvod vzduchu a následně přišroubovány. Vzduch proniká přes prolisy do siláže. Díky této cirkulaci se zabráňuje tomu, aby docházelo k postupnému uhnívání uložených surovin. Součásti jsou v korytu zajištěny přišroubovaným profilem a díky tomu je rovněž zajištěna možnost jednoduché výměny opotřebovaných segmentů. Uložení hotových dílců je patrné z obrázků 3 a 4.



Obr. 2 Model řešené součásti

Ohýbaná součást má v momentální výrobní revizi 26 odvětrávacích otvorů, někdy označovaných jako žebra nebo žebra, a 5 ohybů. Ty jsou na dílci zvoleny právě tak, aby bylo umožněno jednoduché skládání dílců do podlahy, tzv. jeden do druhého.



Obr. 3 Zobrazení uložení součástí do dna sila [9]



Obr. 4 Detail odvětrávací sestavy [10]

Protože suroviny ukládané v silu jsou často vlhké, je tomu uzpůsoben i výběr materiálu. Vhodnou a také cenově přijatelnou variantou je žárově pozinkovaný plech, ze kterého je většina součástí zemědělského sila. Konkrétně je použit materiál označovaný dle EN 10346 Dx51D + Z 275 tloušťky 1,5 mm, jehož mechanické vlastnosti a chemické složení je uvedeno v tabulkách 1 a 2.

Tab. 1 Mechanické vlastnosti Dx51D + Z 275 [11], [12]

Mez pevnosti [MPa]	Mez kluzu [MPa]	Minimální tažnost [%]
270–500	360–430	22

Tab. 2 Chemické složení Dx51D + Z 275 [11], [12]

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Ti [%]
0,18	0,5	1,2	0,12	0,045	0,3

Technologické centrum a.s. je firma střední velikosti založená roku 1995, která se zabývá zakázkovým zpracováním plechu. Mezi její zákazníky patří tuzemské i zahraniční podniky různých velikostí a odvětví. Jelikož se společnost zabývá výhradně zpracováním plechových dílců, je tomu uzpůsobeno i její strojní vybavení. Technologie a služby, které jsou ve firmě zastoupeny a nabízeny jsou laserové řezání, CNC ohýbání, svařování a různé zámečnické operace jako je vrtání, zahlubování a strojní odjehlování a v neposlední řadě také strojní rovnání.



Obr. 5 Trumpf TruLaser 2030



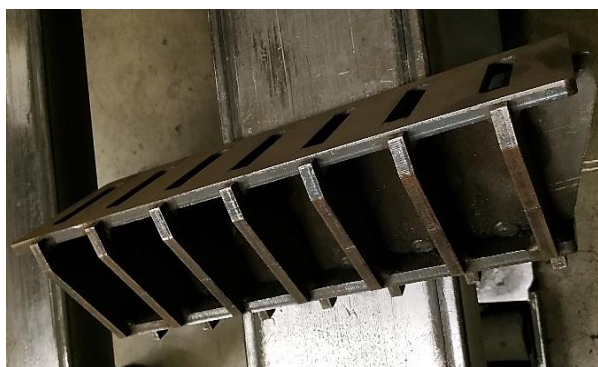
Obr. 6 Bystronic Xpert 150

Na obrázcích 5 a 6 jsou zobrazeny dva zástupci ze strojního parku firmy, a to laser Trumpf TruLaser 2030 a ohraňovací lis Bystronic Xpert 150, na kterém je, díky jeho možnostem, využívána off-line tvorba ohýbacích programů.

1.1 Současný postup výroby součásti

Součást je nejdříve vyřezána na laseru včetně prořezů pro budoucí prolisy. Na tabuli plechu jsou součásti uloženy po délce vedle sebe, bez nutné mezery, jedná se tedy o tzv. společný řez. Tento způsob dělení je rychlý a levný, protože je zkrácena celková délka řezu a tím i čas výroby. Dále jsou vytvořeny odvětrávací otvory ve formě prolisů na ohraňovacím lisu. K tomu je ve firmě již vytvořen jednodušší prolisovací nástroj, který v jednom chodu stroje vytvoří pouze polovinu otvorů. Výrobek je tedy prolisován na dva chody stroje. Následně je součást ohnuta do požadovaného tvaru.

Na obrázcích 7 a 8 je zobrazen spodní a horní nástroj, který se momentálně ve společnosti využívá pro prolisování záber. Tento nástroj slouží pro starší revizi dílce a z toho důvodu je zde menší počet prolisů. Detailnější pohledy na stávající nástroj jsou v příloze č. 1.

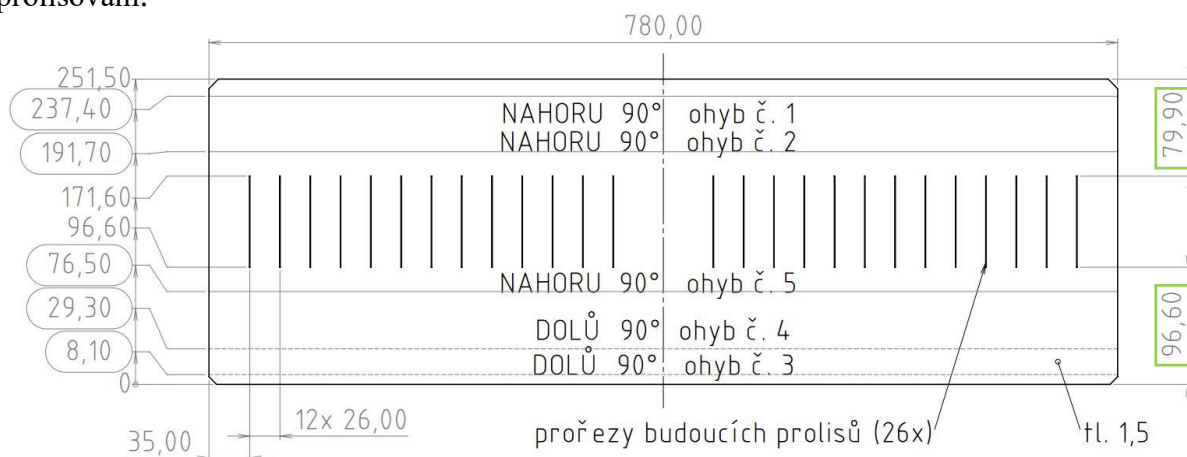


Obr. 8 Spodní nástroj



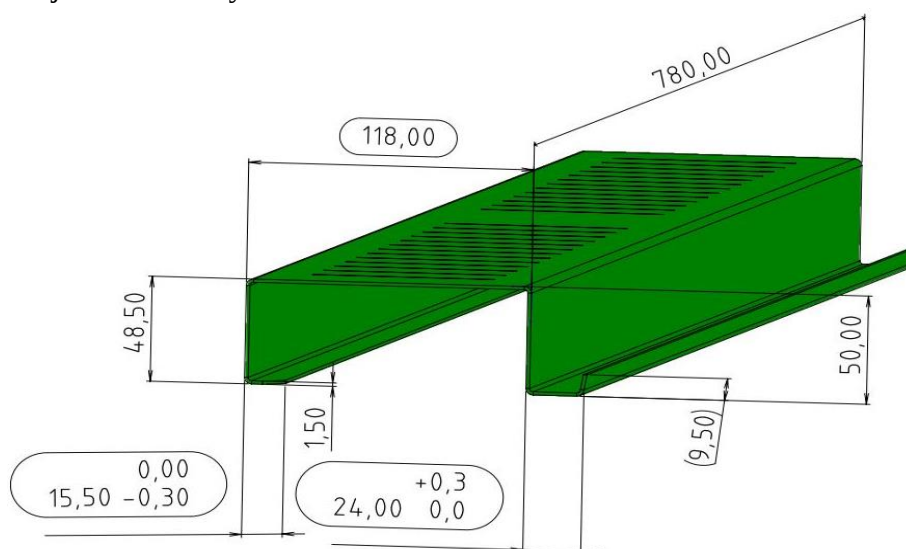
Obr. 7 Horní nástroj

Na následujícím obrázku 9 je zobrazen rozvinutý pohled na řešený dílec s postupem ohybu a jsou zde vyznačeny a zakótovány polohy budoucích prolisů, které jsou předřezány. Z obrázku je taktéž zřejmé, že prolisy nejsou umístěny na dílci symetricky vůči dlouhým stranám, což vede často ke vzniku neshodného kusu při prolisování. Zejména, když operátor dílec vloží do nástroje obráceně. Další problém, který se často vyskytuje je fakt, že se nedodrží správný postup ohybu, a to hlavně při otočení výrobku při ukládání na paletu po předchozí operaci, tedy prolisování.



Obr. 9 Rozvinutý tvar dílce s pořadím ohybů

Při výrobě prolisů je dále nutno striktně hlídat několik důležitých bodů. Prvním z nich je hloubka profilu, která nesmí být příliš velká, aby vzniklou mezerou nepropadávaly uložené suroviny. Na druhou stranu musí být zaručena stejná hloubka všech prolisů. Jako další musí být operátorem hlídáno, aby byly profily vůbec proříznuty. Posledním podstatným bodem je dodržování správných výrobních tolerancí při ohybu, aby bylo možno dílce zakládat do sebe. Tyto tolerance jsou zobrazeny na obrázku 10.



Obr. 10 Základní rozměry výrobku a výrobní tolerance

1.2 Rozbor možností výroby prolisů [13], [14], [15], [16], [17], [18]

Z důvodů potřeby optimalizace výrobního procesu výroby součásti je potřeba zhodnotit jednotlivé možnosti výroby prolisů. Rozbor možností je uveden níže a obsahuje i dva nové návrhy nástroje. S ohledem na vyráběné množství a pro průkazné srovnání technologií je uvažována série 6 000 kusů ročně. Ve valné většině je výroba takovýchto profilů realizována na vysekávacích nebo kombinovaných strojích.

Vysekávací stroj

Při výrobě dílců na vysekávacím stroji je uvažováno, že polotovarem je plechový přístřih. Nejdříve se speciálním nástrojem na prostřížení a prolisování dělají prolisy všech otvorů. Následně se obseká kontura plechu. Musí být zvolen tento postup výroby, protože pokud se nejdřív obseká kontura a až potom by se tvářela žábra, může dojít k posunutí dílce, a tím vzniku neshodného kusu. Výsledný prolis odpovídá geometrii nástroje a z toho důvodu je nutné vyrobit nástroj speciálně pro toto použití. Na obrázcích 11 a 12 jsou nástroje pro tuto výrobu od značky Trumpf.

Tvorba prolisů touto metodou je realizována dvěma způsoby. Prvním z nich je možnost tvorby žábra na jeden zdvih. Maximální velikost prolisu, který lze najednou vytvořit, je 110 mm. Tvářecí zdvih trvá necelou 1 s. Za předpokladu, že je třeba větší délky, je nutno použít druhou metodu, tzv. nekonečného žebra, díky čemuž je možno vytvořit prolis libovolně dlouhý. Druhá metoda není prozatím uvažována, jelikož to pro zákazníka znamená změnu celé konstrukce výrobku a z toho důvodu je pro zhodnocení počítáno s první metodou výroby prolisů.

Hlavní výhody této technologie jsou variabilitnost, resp. jednoduchý přechod na novou revizi výrobku, velká rychlost výroby, kdy 1 prolis zhruba trvá 1 s a je zaručená správná hloubka každého žebra, při neopotrebeném nástroji. Z povahy výroby nástrojů, jejich povrchové úpravy a speciálním povlakům je také zajištěna jejich relativně dlouhá životnost.

Na druhou stranu hlavním nedostatkem tohoto způsobu je, že společnost nevlastní vysekávací stroj a výroba tak předpokládá realizaci v kooperaci. Do zmíněných strojů je nutno používat speciální nástroje, jejichž cena je relativně velká. Každý takový nástroj je přizpůsoben dané aplikaci a je tedy, dá se říct, jednoúčelový.



Obr. 11 Nástroj pro obsekávání kontury výrobku [15]



Obr. 12 Nástroj pro tváření žeber [16]

Kombinovaný stroj

Principem kombinovaného stroje, zobrazeného na obrázku 13, je spojení technologie stříhání a laserového řezání. Stroj obsahuje dvě funkční hlavy, jedna vysekávací a druhá laserová. Práce na tomto stroji je rozdělena. Zatímco děrovací hlava se využívá zejména pro tvorbu děr, jednoduchých kontur, závitů a odvětrávacích žeber, laserová hlava slouží pro tvorbu přesných obrysů.

Způsob výroby prolisů na tomto stroji je stejný jako u klasického vysekávacího stroje. Nejdříve se vysekávací hlavou prolisují žábra, ale následná kontura součásti se vytvoří pomocí laseru. Lze také využít způsobu společného řezu pro snížení času výroby.



Obr. 13 Kombinovaný stroj Trumpf TruMatic 6000 [16]

Výhodou je lepší kvalita řezné, oproti střížné hraně. Dále kratší výrobní čas, protože zde je možnost využití již zmíněného laserového řezání. Jelikož je výroba prolisů v tomto případě stejná jako u vysekávacího stroje, tak jsou u této možnosti stejné výhody a nevýhody. Tento stroj také ve firmě není, a proto se také předpokládá realizace výroby v kooperaci. Hlavním rozdílem je vyšší cena stroje, což je taktéž spojeno s vyšší hodinovou sazbou, oproti děrovacímu stroji.

✚ Lisovací stroj – postupový nástroj

Jako další varianta výroby je uvažováno využití lisu a postupového nástroje. Způsobů výroby, při použití tohoto stroje, je velké množství. Od různých variant polotovaru a až po různé varianty nástrojů. Jedna z možností je popsána dále.

Polotovarem je svitek plechu určité šířky. Nejdříve se pás plechu narovná přes rovnací stroj, dále se ořízne na požadovanou šířku, pokud nebyl seříznut dříve, což by značně prodražilo výrobu, resp. cenu polotovaru.

Dále polotovar putuje do lisu s kombinovaným nástrojem, kde jsou 3 hlavní segmenty nástroje. První z nich prolisuje žebra v jednom směru, druhý nástroj je prolisuje v opačném směru. Třetí nástroj je jen střížný, který vystříhne hotový výrobek. Příklad takového nástroje je na obrázku 14.



Obr. 14 Příklad části postupového nástroje [17]

Lisovací stroje jsou velmi výhodné pro automatickou výrobu a velké série, což v případě této výroby není, a tedy nemá smysl je dále uvažovat. Dalším negativním bodem je značná cena nástroje a také jeho téměř nulová variabilita. Na druhou stranu, právě pokud jsou požadovány statisícové série tohoto výrobku, tak se právě tento způsob výroby jevil jako nejvhodnější. Velkou výhodou tohoto způsobu je malá zmetkovitost a také, že lze zavést automatizovanou výrobu.

✚ Ohraňovací lis se speciálním nástrojem na 1 prolis

Tento způsob výroby je víceméně totožný s tím, jak se výrobek vyrábí nyní. Nejdříve je na laseru vytvořena kontura a jsou předřezány otvory. Následně je součást přesunuta na libovolný ohraňovací lis, kde jsou vytvořeny prolisy. Ty se vyrábějí speciálním nástrojem po jednom. Tedy stejným druhem nástroje, jakým se ve firmě vyrábí jakékoliv další prolisy. Tento nástroj je zobrazený na obrázku 15.

Problémem při této výrobě je nastavení stroje, konkrétně zadního dorazu, tzn. osy x, pro jednotlivé prolisy. X-ové hodnoty pak musí být doupřevy tak, aby hrana prolisovacího nástroje přesně vycházela na předřezaný otvor. Dále si operátor musí vhodným způsobem zajistit polohu dílce v nástroji bočním dorazem, aby nebyly prolisy posunuty.



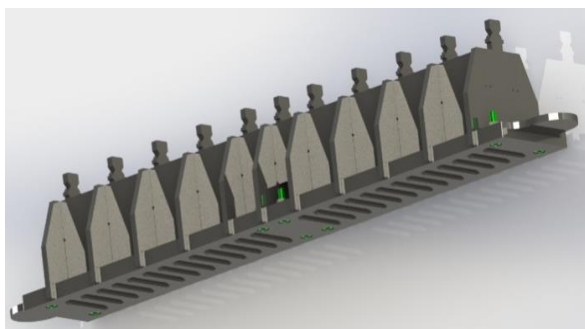
Obr. 15 Část nástroje pro jednotlivý prolis

Výhodou tohoto způsobu výroby je zejména obrovská variabilita při změně revize a dále velmi malé náklady na nástroj, které jsou neporovnatelné oproti cenám ostatních nástrojů. Hlavní nevýhodou je velmi dlouhá doba výroby žáber a také stále přetrvávající nutnost předřezání otvoru. Z toho důvodu je tato možnost vhodná zejména pro vzorky, anebo velmi malé série jinak je výroba značně nevhodná.

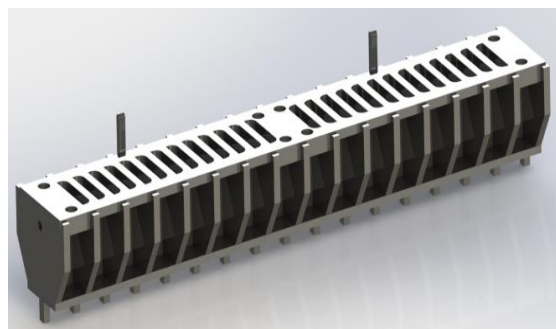
Ohraňovací lis se speciálním dvojitém nástrojem

Prvním navrhovaným nástrojem pro prolisování je speciální dvojitý nástroj. Víceméně se jedná o optimalizovaný nástroj, kterým se momentálně prolisy vyrábí. Základní dělení je tedy stejné. Na laseru je vyrobena kontura a předřezány prolisy. Následně jsou prolisovány prolisy na jeden chod stroje na ohraňovacím lisu.

Nástroj je vytvořen z výpalků z plechu S355MC tloušťky 8 a 10 mm a následně svařen. Funkční části jsou na nástroj přišroubovány. Návrh nástroje je na obrázcích 16 a 17. U spodního nástroje je uvažováno o použití speciálních zadních dorazů, které usnadní nastavení potřebného programu ve stroji. Dalším možným doplňkovým příslušenstvím je tzv. vysunovač, jež umožní zajistit jednoduché vyjmutí dílce ven po prolisování. Samozřejmostí je přítomnost bočního dorazu.



Obr. 16 Návrh horního nástroje



Obr. 17 Návrh spodního nástroje

Díky všemu zmíněnému příslušenství je možné nejvíc usnadnit nastavování stroje a zejména také zavádění a správné ustavení dílce v nástroji. Z důvodu zvýšení variability se předpokládá hlavní konstrukce svařovaná a funkční části budou po přefrézování na přesný rozměr přišroubovány. Pokud zákazník požaduje změnu geometrie nebo počtu prolisů jednoduše se nechají vyrobit funkční desky nástroje znova, přičemž hlavní konstrukce zůstává stejná.

Hlavní výhodou tohoto způsobu výroby je právě variabilita nástroje a jeho cena, protože je možno jej vyrobit jednoduše v režii firmy. A také, že díky plechům, relativně velké tloušťky a jejich svaření je zaručena dostatečná pevnost a tuhost celé sestavy.

Mezi výrazné nevýhody lze zahrnout relativně vysokou hmotnost obou částí nástroje. Problémem je také fakt, že úspora času je pouze v rámci prolisování a laserové dělení zůstává stejné.

Ohraňovací lis se speciálním sdruženým nástrojem

Hlavní prostor pro optimalizaci a zlepšení výroby prolisů, je ve snížení rezného času laseru a následné snížení času výroby samotných odvětrávacích otvorů. Myšlenkou, jak zkrátit oba tyto časy, je sdružený nástroj, kdy se při jednom chodu stroje prostříhnou a současně prolisují všechna žebra. Návrh vychází z principu fungování nástroje na výrobu prolisů na vysekávacím stroji. Příklad principu nástroje je zobrazen na obrázku 18.

Součásti se nejdříve vyřezají na laseru, ale pouze kontura, a následně se v nástroji na zvoleném ohraňovacím lisu prostříhnou a prolisují prolisy. Následný ohyb zůstává stále stejný.

Výhodou tohoto nástroje je zřejmá velká úspora času výroby a snadná práce s nástrojem, kdy se také naskýtá možnost využít pro práci méně kvalifikovaných operátorů. Díky tomu, že je realizováno prostřížení a prolis bez předpalování, se zamezí zbytečnému vzniku neshodných výrobků.

Všechna žebra jsou totiž stejně vysoko prolisována a správně umístěna na polotovaru, což je samozřejmě závislé na opotřebení funkčních ploch. Dále je uvažováno s dostatečnou variabilitou nástroje a tedy, že hlavní funkční části je možné vyměnit, ať už z hlediska opotřebení, nebo potřeby změny revize součástí. Jako poslední je možno uvést, že výroba je značně jednoduchá a je ji možno provést na ohraňovacím lisu přímo ve firmě.

Z hlediska nevýhod, lze jako hlavní zmínit celkovou cenu nástroje, protože z důvodu potřeby přesnosti nástroje je nutno součásti frézovat, a tedy vyrábět kooperálně mimo firmu. Kvůli celkové potřebné velikosti nástroje, lze očekávat velkou hmotnost obou částí nástroje, a tedy horší manipulaci.



Obr. 18 Příklad sdruženého nástroje na prostřížení a prolis [18]

1.3 Zhodnocení a porovnání metod výroby

S přihlédnutím na možnosti firmy a také velikost série, jaká se ročně realizuje, je možnost výroby na kombinovaném stroji a na lisu nepřijatelná. Výroba s nástrojem pro jeden prolis je nejméně vhodná, protože celková doba pro prolisování se značně zvýší. Tento způsob je vhodný spíše pro malé jednorázové série nebo pro vzorování nových součástí.

Pro konečné zhodnocení je uvažována výroba na vysekávacím stroji a využití speciálních navrhnutých nástrojů dvojitého a sdruženého. Pro usnadnění výpočtu časové úspory se uvažuje pouze s dělením materiálu a výrobou prolisů. Ohyb se zanedbává, protože je stále stejný, ať už je využita kterákoliv z vybraných technologií. Porovnání zvolených metod je provedeno pouze podle časové úspory, protože tak je možno zanedbat cenu nástroje a hodinové ceny, což je pro prvotní posouzení dostačující. Tímto zanedbáním ale vnášíme do výpočtu značnou chybu, která bude na konci práce zredukována ve finálním ekonomickém zhodnocení návrhu nástroje.

Tab. 3 Porovnání časů výroby zvolených technologií

Počet kusů [ks]	Dvojitý prolis	Sdružený nástroj	Vysekávací stroj
dělení materiálu [min]			
12	5,82	2,03	8,2
100	52,35	18,3	68,33
1 000	488,6	170,8	683,33
prolis [min]			
12	5,22	5,22	0
100	43,5	43,5	0
1 000	435	435	0
celkový čas [min]			
12	11,04	7,25	8,2
100	95,85	61,8	68,33
1 000	923,6	605,8	683,33

V tabulce 3 je zobrazen čas potřebný na dělení materiálu a prolis pro zvolené způsoby výroby a jsou porovnány se současným stavem. Dvojitý prolis je vlastní návrh speciálního dvojitého prolisovacího nástroje. Sdružený nástroj je návrh, který bude dále v práci řešen. Jako nejnížší série je zvolen počet kusů 12, který je maximální do tzv. středního formátu plechu tedy 2 500 x 1 250 mm a jako další jsou pro názornost zvoleny série 100 a 1 000 ks. Detaily výpočtu jsou uvedeny níže.

Čas pro dělení materiálu, v případě využití laseru, tedy nástroj s dvojitým prolisem a sdruženým nástrojem, vychází z celkové řezné délky pro konturu a prolis. Pro nástroj s dvojitým prolisem, je řezná délka větší o otvory pro prolisy, a tím je i delší řezný čas. U řezných délek je zahrnuto také využití společného řezu.

- ❖ celková řezná délka pro nástroj s dvojitým prolisem – $\check{R}d_{DP} = 41\,136\text{ mm}$,
- ❖ celková řezná délka pro sdružený nástroj – $\check{R}d_{SN} = 17\,736\text{ mm}$.

Dle zvoleného řezného plánu a řezných délek byl programem Bystronic vypočten celkový čas na vyřezání tabule takto:

- ❖ celkový řezný čas pro práci s nástrojem s dvojitým prolisem – $\check{R}\check{c}_{DP} = 5\text{ min }49\text{ s}$,
- ❖ celkový řezný čas pro práci se sdruženým nástrojem – $\check{R}\check{c}_{SN} = 2\text{ min }2\text{ s}$.

Tato hodnota obsahuje vedle potřebného času na dělení materiálu také vedlejší čas na nastavení stroje a výměnu tabule plechu, vše je uvedeno v řezných plánech v příloze práce. Čas na prolis je určený dle firemních norem, které vychází z odhadovaného času na prolis navýšeného o čas na nastavení stroje a nástrojů a manipulaci.

U vysekávacího stroje je vycházeno z časového nacenění práce u celkem 4 kooperačních firem, protože tento stroj ve firmě není. Poptávka vychází z počtu 12 000 ks a následně se rozpočítává na zvolená množství. Jelikož jsou u této varianty prolisy provedeny hned při dělení materiálu, není uvažován žádný čas na další operaci.

Z tabulky 3 je patrné, že z hlediska doby výroby je nevhodnější použít speciální sdružený nástroj. Naopak nejhůře vychází druhý návrh nástroje s dvojitým prolisem. Velkou výhodou této varianty výroby je cena nástroje, která je velmi malá a v porovnání s odhadovanou cenou sdruženého nástroje, zanedbatelná. Parametrem, který je také proti použití vysekávacího stroje, je, že jej firma nevlastní a předpokladem je tuto část výroby provádět kooperačně, což není příliš ekonomické.

Z celkového zhodnocení způsobu výroby prolisu tedy působí jako nejvhodnější využít sdružený nástroj na ohraňovací lis. Technologie, které se při práci na nástroji uplatňují jsou stříhání, tažení a speciální výroba prolisů, a proto jsou součástí řešerské části práce.

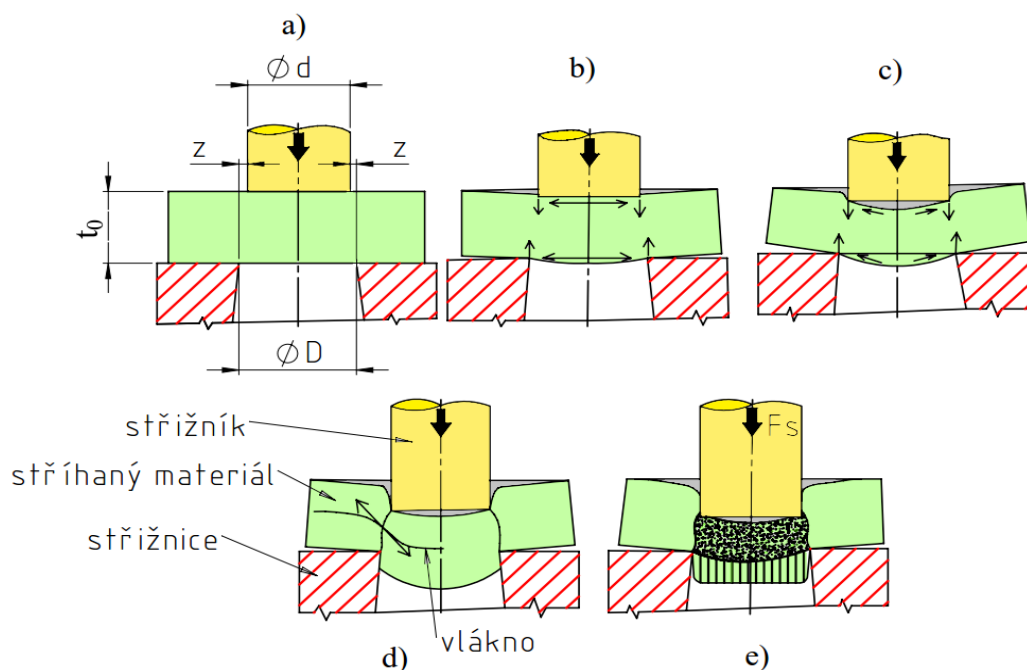
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ [1], [2], [3], [4], [19], [20]

Stříhání je jednou z nejrozšířenějších operací plošného tváření. Princip spočívá v oddělení materiálu protilehlými břity podél křivky stříhu. Nástroje mohou být jak ve formě přímoběžných nožů, tak ve formě kotoučů.

Rozeznává se několik způsobů stříhání. Prosté je klasické dělení svitků, tabulí nebo profilů na menší celky. Při děrování je odstřiženou částí plechu odpad. Vystřihováním se odstřihne z tabule hotový výstřižek. Ostřihováním se odděluje přebytečný materiál zpracovaný při jiných operacích jako je například protlačování, kování apod. Při přistřihování dochází ke kalibraci přesných rozměrů a tvarů součástí. Prostřihováním se docílí částečného nastřihnutí materiálu uvnitř výstřižku.

Pro měkký ocel do pevnosti 400 MPa se využívá stříhání za studena a pro tvrdší materiály a také po ty s větší tloušťkou se využívá ohřevu, tj. stříhání za tepla.

Proces stříhu probíhá v několika fázích, jak je zřejmé z obrázku 19. V první době k dosednutí nástroje na materiál a vyvození pružné deformace. V této fázi je hloubka vniknutí střížníku $5 \div 8 \%$ tloušťky plechu a je závislá na mechanických vlastnostech materiálu. Následuje druhá fáze, kdy nástroj vniká hlouběji do materiálu a dochází k trvalé deformaci. Hloubka vniknutí je okolo $10 \div 25 \%$ tloušťky. Poslední fází je tzv. nástřih, kdy se vytváří trhliny, vedoucí k následnému ustřižení materiálu.



a) dosednutí střížníku, b) pružná deformace, c) plastická deformace,
d) nástřih, e) finální dostřihnutí

Obr. 19 Fáze stříhání [23], upraveno

První fáze na obrázku 19 popisují schémata „a“ a „b“, tedy dosednutí střížníku a pružnou deformaci. Plastickou fází představuje schéma „c“ a poslední třetí části „d“ a „e“. V schématu „d“ je také vidět deformace vláken materiálu, která vede až k jeho porušení.

Na technologii stříhání má vliv zejména střížná vůle, střížná práce a síla, které jsou popsány níže.

2.1 Střížná vůle [1], [2], [4], [23], [24]

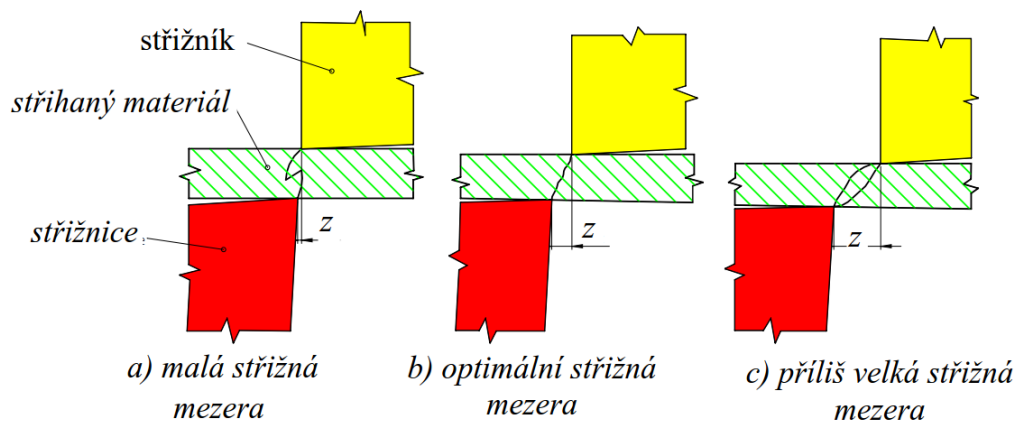
Velmi důležitým faktorem při střížném procesu, je velikost střížné mezery. Při uzavřeném stříhání je uvažováno se střížnou vůlí neboli rozdílem mezi průměrem střížníku a střížnice. Lze ji definovat dle vztahu:

$$v = 2 \cdot z \quad (2.1)$$

kde: v – střížná vůle [mm],

z – střížná mezera [mm].

Její velikost ovlivňuje rychlost vniku nástroje a šíření trhlin. Dále má velký význam pro velikost střížné síly, střížný odpor a kvalitu stříhané hrany. Při zvolení optimální vůle dochází ke spojení trhlin v okamžiku stříhu při nejmenší střížné síle. V případě malé střížné vůle dochází k rozšiřování pásma lomu, což vede ke zhoršení kvality stříhu. Pokud je naopak příliš velká, hrozí znatelné zvýšení síly. Nedochází také ke kvalitnímu ustřížení materiálu, ale spíše utržení následkem nespojení trhlin od střížných hran. Oba dva tyto případy mají také negativní vliv na opotřebení nástrojů. Z toho důvodu se při malých střížných vůlích často využívá maziv. Na následujícím obrázku 20 je porovnání při využití příliš malé a příliš velké střížné vůle. Jedná se tedy o rozdíl rozměrů funkčních částí střížníku a střížnice. Rozdíl rozměrů na jedné straně udává střížnou mezera.



Obr. 20 Porovnání stříhání při malé, velké a optimální střížné vůli [18], [19], upraveno

K určování střížné vůle jsou vytvořeny doporučené tabulky pro různé tloušťky a materiály. Z nichž je možno zjistit, kolik procent z tloušťky musí být vůle. Pro vlastní výpočet jsou určeny následující vztahy:

❖ pro tloušťku $t \leq 3$ mm

$$v = c \cdot t \cdot \sqrt{\tau_{PS}} \quad (2.2)$$

❖ pro tloušťku $t < 3$ mm

$$v = (3 \cdot t - 0,03) \cdot \sqrt{\tau_{PS}} \quad (2.3)$$

kde: c – koeficient zahrnující vliv otupení nástroje ($c = 0,01 \div 0,07$) [-],
 t – tloušťka stříhaného materiálu [mm],
 τ_{PS} – pevnost materiálu ve stříhu [MPa].

$$\tau_{PS} = 0,8 \cdot R_m \quad (2.4)$$

kde: R_m – mez pevnosti v tahu materiálu [MPa].

2.2 Střížná síla a práce [2], [3], [22], [23]

Rozložení síly při stříhání není konstantní. Střížná síla narůstá do svého maxima v hloubce plastického zatlačení nástroje do materiálu, jak je patrné z obrázku 21. Do tohoto bodu síla roste, následně dojde k porušení lomem a síla významně klesá. Pro stříhání s rovnoběžnými noži lze sílu vyjádřit jako:

$$F_S = n \cdot L \cdot t \cdot \tau_{PS} = n \cdot L \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m = n \cdot L \cdot t \cdot k_s \quad (2.5)$$

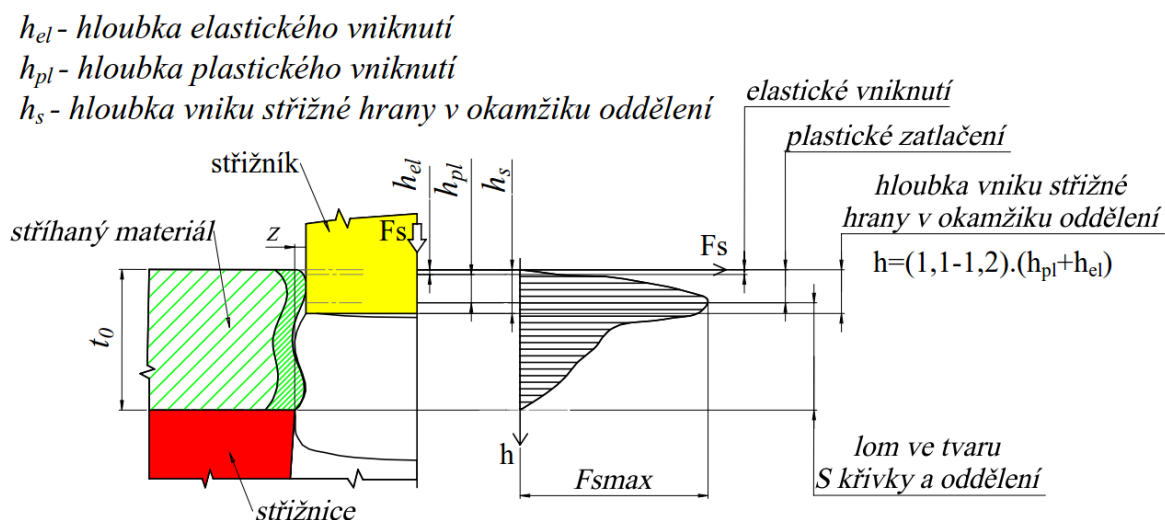
kde: n – opravný koeficient, který zahrnuje vliv vnějších podmínek jako např. nerovnoměrnost tloušťky a zhoršení kvality střížných hran ($n = 1 \div 1,3$) [-],
 L – délka křivky stříhu [mm],
 k_s – střížný odpor [MPa], řada autorů uvažuje, že $k_s \approx \tau_{PS}$.

Pro snížení střížné síly lze upravit čela střížníků nebo střížné hrany spodního nástroje. Toho se využívá zejména při dělení tlustších materiálů nebo součástí větších rozměrů. Nejvíce rozšířená úprava je zkosení střížníku a u postupových nástrojů zejména stupňovité uspořádání nástrojů s jeho zvětšováním. Při zkosení dojde ke změně délky stříhu, jelikož nástroj nevniká do materiálu najednou, ale postupně. Vzorec pro výpočet střížné síly při použití šikmých nožů lze napsat jako:

$$F_S = n \cdot t \cdot b \cdot \tau_{PS} = n \cdot s^2 \cdot \frac{\tau_{PS}}{\tan \varphi_n} \quad (2.6)$$

kde: φ_n – úhel stříhu/sklonu nožů (tabulové nůžky $2 \div 6^\circ$, pákové nůžky $7 \div 20^\circ$) [$^\circ$].

Na obrázku 21 je znázorněn charakteristický průběh střížné síly při stříhání s rovnoběžnými noži.



Obr. 21 Charakteristický průběh střížné síly [3], upraveno

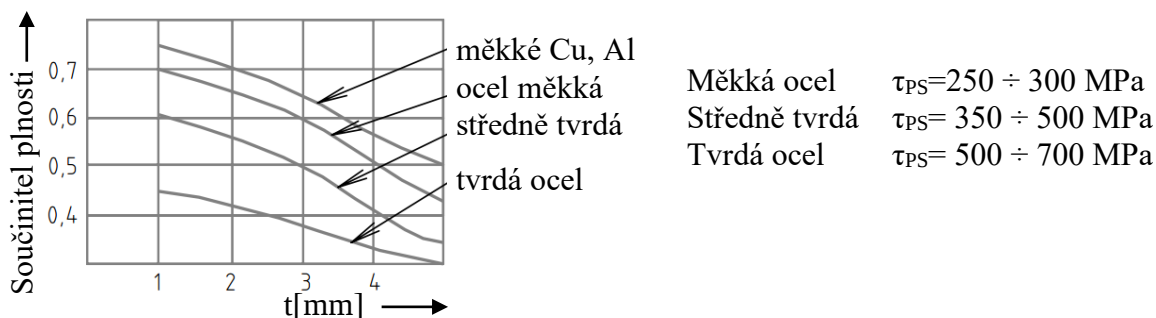
Z rozložení síly je zřejmé, že nejvyšší síla bude na konci plastického zatlačení, nikoliv v místě hloubky vniknutí v okamžiku oddělení. Mírný pokles síly je zapříčiněn prvotním vznikem trhlin. U stříhaného materiálu je zobrazená také oblast zpevnění, která představuje $20 \div 30 \%$ tloušťky plechu.

Střížná práce je charakterizována plochou pod křivkou střížné síly viz obr. 21. Při stříhu rovnoběžnými noži je možno práci popsat vzorcem:

$$A = \lambda \cdot F_{\text{smax}} \cdot t \quad (2.7)$$

kde: λ – součinitel plnosti [-],
 F_{smax} – dosažené maximum střížné síly [N],
 t – tloušťka plechu [mm].

Součinitel plnosti je zobrazen na obrázku 22. Součinitel plnosti roste v závislosti na klesající tvrdosti materiálu a současně na jeho rostoucí tloušťce.



Obr. 22 Graf ke stanovení součinitele plnosti [3]

2.3 Přesnost a jakost povrchu stříhaných ploch [20], [21], [24], [25]

Na přesnosti a kvalitě střížných ploch se podílí velké množství parametrů. Například zhotovení a kvalita nástrojů, vlastnosti stříhaného materiálu, možnosti stroje a přesnost ustavení nástrojů a polotovaru ve stroji.

Při běžném stříhání je možno dosáhnout přesnosti stupně IT 12 ÷ 14, což odpovídá spíše výrobě polotovaru než hotových součástí. Při běžném stříhání tlouštěk okolo 4 mm je střížná plocha charakterizována mírným zkosením a zhoršenou drsností. U materiálů menších tlouštěk je kvalita střížné plochy okolo Ra 1,6 μm a při stříhání větších tlouštěk je drsnost okolo Ra 3,2 μm .

Pokud je uvažován princip přesného stříhání, například se zkoseným přidržovačem, se zaoblenou střížnou hranou, nebo přistříhování, je dosažitelná rozměrová přesnost IT 6 ÷ 8. Dosahuje se současně velmi kvalitní střížné plochy kolmé k rovině povrchu s drsností Ra 0,2 ÷ 1,6 μm .

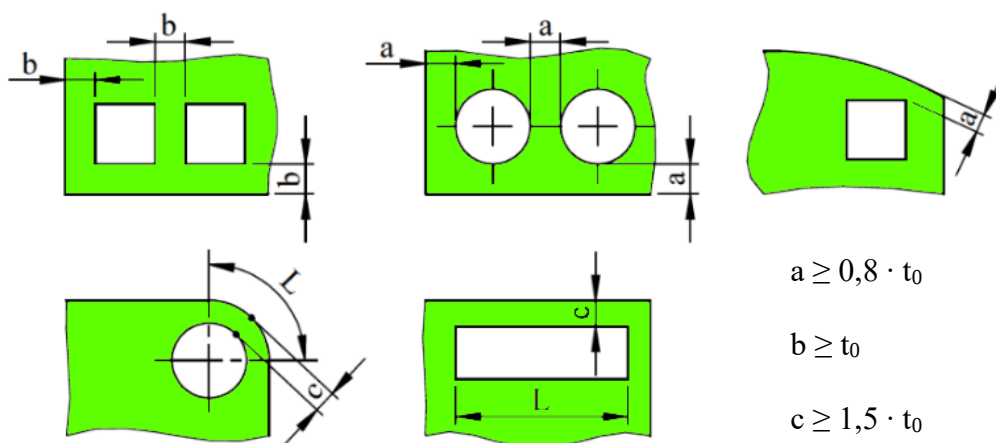
2.4 Technologičnost stříhání [20], [21], [24], [25]

Jedním z hlavních předpokladů vhodného technologického postupu, je zejména hospodárnost výroby a s tím spojený správný technologický návrh výstřížku. Je doporučeno, aby byl tvar výstřížku ucelený, jednoduchý pro výrobu a s minimálním odpadem. Na obrázku 23 jsou příklady uspořádání výstřížků na plechu. Právě minimalizace vzniku odpadu je velmi důležitá, protože při procesu dělení materiálu tvoří jeho cena cca 80 ÷ 90 % z celkových nákladů, z toho důvodu dochází k optimalizaci nástříhových plánů, kdy je požadováno využití materiálu okolo 70 %.



Obr. 23 Příklady uložení výstřižků na pásu plechu [25]

Mezi další zásady patří nepředepisování rovinnosti výstřižků, protože ta je při procesu dělení značně ovlivněna. Dále je nutno uvažovat se správnými minimálními vzdálenostmi mezi otvory a mezi otvorem a vnější konturou, což je znázorněno na obrázku 24.

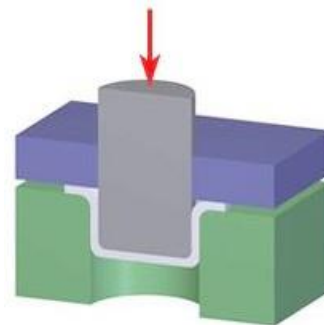


Obr. 24 Kritické rozměry výlisku [25]

V neposlední řadě je také důležitá úvaha nad hotovým tvarem výrobku, protože například plynulé přechody oblouků do přímé části, vedou ke zdražení nástroje a tím i výrobku. Na druhou stranu s touto zásadou souvisí i to, že kruhové otvory jsou z hlediska využitelnosti materiálu méně vhodné.

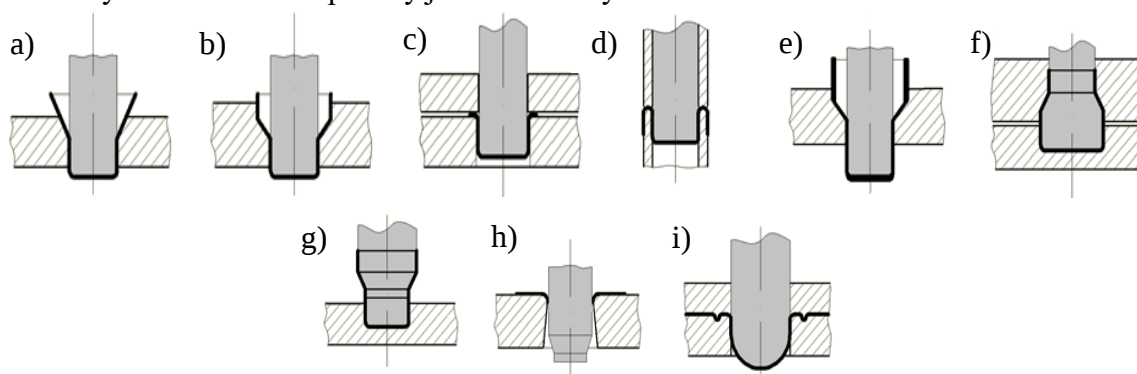
3 TECHNOLOGIE TAŽENÍ [1], [2], [3], [19], [23], [26], [27], [28], [31]

Tažení patří mezi základní operace tváření, při níž dochází k trvalé přeměně rozvinutého polotovaru na prostorovou uzavřenou plochu. Při procesu dochází k postupnému vnikání tažníku, tj. horního nástroje, do polotovaru plechu a jeho postupnému tažení do tažnice, což je znázorněno na obrázku 25. Je možno využít i speciální přidržovač zabráňující zvlnění okraje a také umožňující větší redukce polotovaru. Tažení je možno realizovat na jednu, ale i více operací. Výchozím polotovarem je zejména přístřih z plechu.



Obr. 25 Proces tažení [31]

Rozlišujeme několik způsobů tažení, a to se ztenčením stěny nebo bez ztenčení, zpětné tažení, žlábkování, protahování a vypínání. Pro úpravu trubek se používají metody zužování a rozšiřování, při nichž dochází k úpravě konců nebo změnám průměrů výlisků. Základní způsoby jsou zobrazeny na obrázku 26.

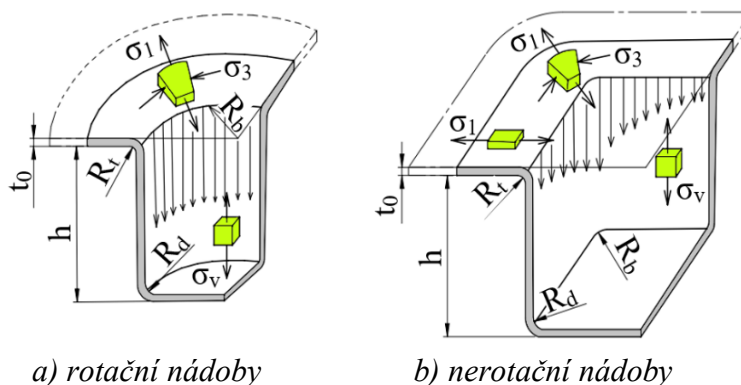


a) bez přidržovače – 1. tah, b) bez přidržovače – 2. tah, c) s přidržovačem – 1. tah, d) zpětné, e) se ztenčením stěny, f) zužování, g) rozšiřování, h) lemování, i) napínání

Obr. 26 Základní způsoby tažení plechů [29]

Další a velmi významné rozdělení je z hlediska tvaru hotového výrobku. První možností je výroba rotačně symetrických výtažků. Druhým způsobem je tažení nesymetrických výrobků, u nichž se vyskytují rozdílné stavy napjatosti. Na obrázku 27 je znázorněno srovnání napět'ových schémata pro rotační a nerotační nádoby. Je patrné, že u rovných částí nerotačních výtažků dochází pouze k charakteristické ohybové napjatosti, nikoliv k tahové jako v rozích.

Pro technologii tažení je velmi důležité definování správného polotovaru přístřihu, který je kruhového tvaru, u rotačních výrobků a speciálního atypického tvaru u nerotačních. Zejména oblasti rohů musí mít u takových polotovarů značné přídavky, které umožní správné tečení materiálu.



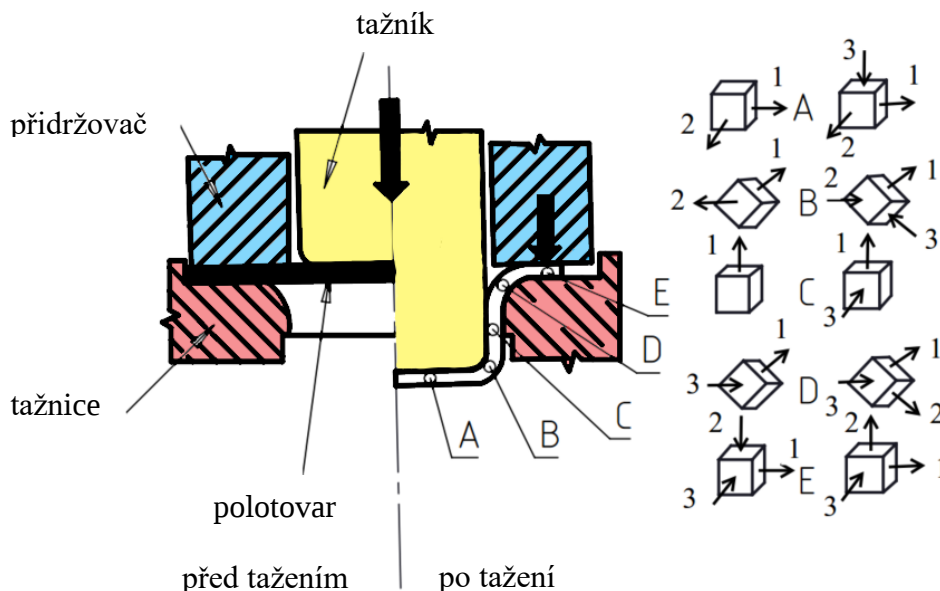
a) rotační nádoby

b) nerotační nádoby

Obr. 27 Napět'ová schémata pro tažení rotačních i nerotačních výtažků [28], upraveno

3.1 Analýza tažení válcového výtažku [12], [17], [18], [22], [25]

Pro úplnost popisu technologie je uvažováno s principem tažení rotačních výtažků s přidržovačem. Proces tažení je velmi charakteristický různým rozložením napětí, což je znázorněno na obrázku 28. Z obrázku je také patrné, že nejvíce ohrožené místo je oblast B, tedy zaoblení dna výtažku. V této oblasti se vyskytuje vysoké tahové napětí, které může v krajních případech způsobit tzv. utržení dna.



Obr. 28 Schéma napětí a deformací při tažení s přidržovačem [29]

3.2 Tažná síla a tažná práce [2], [3], [4], [25], [24], [29], [30]

Pro stanovení tažné síly je využíváno dvou druhů vzorců. První, spíše teoretický, je založen na rozboru napjatosti a deformací. V praxi se spíše využívá zjednodušený empirický vzorec, který vychází z meze pevnosti. Tento vzorec je sice jednoduchý a názorný, ale není tolik přesný. Velikost síly vychází z předpokladu, že musí být o něco menší než síla potřebná k utržení dna. Maximální tažná síla je tedy definována vztahem:

$$F_t = C \cdot \pi \cdot d \cdot t_0 \cdot R_m \quad (3.1)$$

kde: C – součinitel vyjadřující vliv součinitele tažení m s přihlédnutím k poměrné tloušťce (viz. tabulka 4),
 d – průměr tažníku [mm],
 t_0 – výchozí tloušťka plechu [mm],
 R_m – mez pevnosti materiálu [MPa].

Tab. 4 Vybrané hodnoty součinitele C [2]

$m = \frac{d}{D}$	0,55	0,60	0,65	0,70	0,80
C	1,00	0,86	0,72	0,60	0,40

Pokud se využije přidržovač, je nutno určit také jeho sílu, a to ze vztahu:

$$F_p = S_p \cdot p \quad (3.2)$$

kde: S_p – plocha na kterou přidržovač působí [mm²],
 p – specifický tlak přidržovače [MPa] – v závislosti na druhu materiálu od 0,8 ÷ 5 MPa.

Celková síla pro dimenzování stroje je tedy součtem síly tažné a přidržovací, za předpokladu, že nebude využit vyhazovač:

$$F_c = F_t + F_p \quad (3.3)$$

Pokud je uvažováno tažení nerotačních součástí, tak se liší pouze výpočet tažné síly, přidržovací se v principu měnit nebude. Tažná síla je definována s předpokladem ohybu po rovných stranách a to vztahem:

$$F_t = t_0 \cdot R_m \cdot (2 \cdot \pi \cdot R \cdot C_1 + L_r \cdot C_2) \quad (3.4)$$

kde: t_0 – počáteční tloušťka plechu [mm],
 R – poloměr zaoblení výtažku [mm],
 L_r – délka rovné části výtažku [mm],
 C_1, C_2 – konstanty, jejich hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5 [-],

Tab. 5 Hodnoty konstant C_1 a C_2 [2]

	C_1	C_2
mělké tažení	0,5	-
hluboké tažení	2,0	-
nulový přidržovací tlak	-	0,2
normální přidržovací tlak	-	0,3

Práce nutná po tažení vychází ze vztahu:

$$A_t = \frac{k_1 \cdot F_c \cdot h_t}{1000} \quad (3.5)$$

kde: k_1 – součinitel průběhu tažné síly ($k_1 = 0,6 \div 0,8$) [-],
 F_c – celková tažná síla [N],
 h_t – hloubka tažení [mm].

3.3 Stanovení počtu operací [1], [2], [20], [24], [26], [30]

Počet tažných operací je pro celkovou ekonomičnost zásadní. Stanovení počtu tažných operací vychází z výpočtu s využitím tzv. součinitele tažení. Na jeho volbu má vliv velké množství parametrů, zejména vlastnosti materiálu, tloušťka plechu, jakost povrchu a mazivo. Součinitel tažení vychází z výpočtu:

❖ Pro 1 tah:

$$m_1 = \frac{d_1}{D} \quad (3.6)$$

kde: d_1 – konečný průměr výtažku [mm],
 D – průměr polotovaru (přístřihu, rondelu) [mm].

Pokud je m_1 nižší než tabulkově doporučená hodnota, je nutno využít dalších tažných operací. Pro další tahy určíme součinitel tažení ze vztahu:

$$m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}} \quad (3.7)$$

Celkový součinitel tažení je tedy dán součinem všech součinitelů jednotlivých operací. Potřebný počet tažných operací je určen tak, že součinitel m_n v poslední určené operaci je větší než tabulkově doporučená hodnota. Počet operací je velmi snadno ovlivnitelný zejména průměrem polotovaru. V mnoha případech je vhodnější upravit polotovar nebo dílčí vnější průměry, než aby se zvýšil počet operací.

Při výrobě nerotačních výtažků je součinitel m určován z rohové části dílce a to vztahem:

❖ Pro první tah:

$$m_1 = \frac{r_1}{R_0} \quad (3.8)$$

❖ Pro další tahy:

$$m_n = \frac{r_n}{r_{n-1}} \quad (3.9)$$

kde: r_1 – poloměr zaoblení výtažku [mm],
 R_0 – redukovaný poloměr přístřihu [mm].

3.4 Tažná mezera [24], [25], [27], [28], [29]

Tažná mezera, tedy rozdíl mezi rozměrem tažnice a tažníku, je u rotačních výtažků obvykle větší než tloušťka plechu. Nedochozí tak při vtahování materiálu k jeho pěchování, ale pouze k přemístění. Pouze pokud se jedná o kalibrační tažení bez výrazné rozměrové změny, tak se volí mezera stejná jako je tloušťka plechu. Pro její stanovení se uplatňují vztahy:

❖ Pro první tah:

$$z_m = (1,2 \div 1,3) \cdot t_0 \quad (3.10)$$

❖ Pro další tahy:

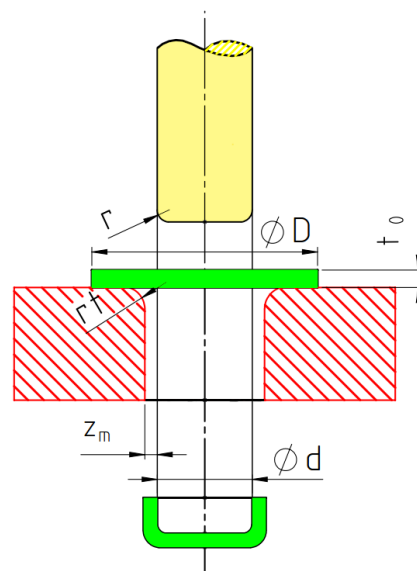
$$z_m = (1,1 \div 1,2) \cdot t_0 \quad (3.11)$$

kde: t_0 – počáteční tloušťka materiálu [mm].

Pro tažení nerotačních výtažků je určení tažné mezery odlišné, protože v rozích se volí větší tažná mezera, aby docházelo k přirozenému zpevnění materiálu z důvodu menšího ztenčení v tomto místě. Mezery se volí ze vztahů:

❖ Rovná stěna:

$$z_m = (1,15 \div 1,3) \cdot t_0 \quad (3.12)$$



Obr. 29 Schéma tažení s vyznačením tažné mezery [25], upraveno

❖ V rozích:

$$z_{mr} = (1,3 \div 1,4) \cdot t_0 \quad (3.13)$$

Na obrázku 29 je zobrazen princip tažení s vyznačením tažné mezery a také s průměry D a d pro výpočet součinitele tažení do vzorců (3.6) a (3.7).

Pro tažení povrchově upravených plechů platí určité odlišnosti. Většinou není nutné využít při tažení mazání. Teplota tažení je volena v rozmezí $15 \div 20$ °C, pokud je teplota nižší, může dojít ke změně barvy povlaku a porušení jeho povrchu. Optimální velikost tažné mezery je taktéž jiná a vychází ze vztahu:

$$z_m = t_o + 0,75 \cdot t_p \quad (3.14)$$

kde: t_o – tloušťka základního materiálu [mm],
 t_p – tloušťka povlaku [mm].

3.5 Volba přidržovače [26], [28], [29]

Při procesu tažení je přidržovač důležitou součástí, protože jeho fungování značně ovlivňuje výslednou kvalitu výrobku. Pokud je tlak přidržovače příliš nízký, dojde ke zvlnění. Pokud je příliš vysoký, tak může dojít k utržení dna.

Předpoklad využití přidržovače vychází z principu stanovení relativní tloušťky plechu a součinitele tažení a je určován také na základně tvaru hotového dílce. U válcového pláště může být výrobek tažen bez přidržovače při splnění následujících předpokladů.

❖ Pro první tah:

$$t_r = \frac{t_0}{D} \cdot 100 \geq 2 \% \text{ a } m_1 = \frac{d_1}{D} \geq 0,6 \quad (3.15)$$

❖ Pro následující operace:

$$t_r = \frac{t_0}{d_{i-1}} \cdot 100 \geq 1,5 \% \text{ a } m_1 = \frac{d_i}{d_{i-1}} \geq 0,8 \quad (3.16)$$

kde: t_r – relativní tloušťka plechu [mm],
 t_0 – tloušťka plechu [mm],
 d – průměry výrobku v prvním kroku (d_1) a i -tém kroku (d_i) [mm],
 m – součinitel tažení [mm].

3.6 Technologičnost tažení [24], [28], [29]

Pro tažení jsou upřednostňovány výtažky s rovným dnem. Je doporučeno zvětšení zaoblení dna na minimální hodnotu dvojnásobku tloušťky z důvodu snížení napětí v tomto místě. Příruby se využívají na výtažcích jen pokud je to nevyhnutelné. Při nutnosti jejich použití se volí její zaoblení minimálně o desetinásobku tloušťky. Není také vhodné volit malé tolerance výtažku, které se musí zhotovovat kalibrováním, což značně zvyšuje náklady výroby.

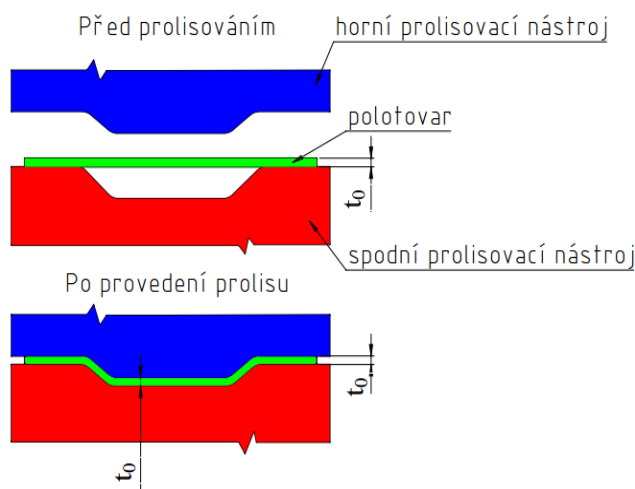
Pro snížení tažné síly se využívají maziva. Vhodné je nanesení maziva na polotovaru pouze na takových místech, kde je následně výtažek v kontaktu se stěnami tažníku a tažnice. Z podstaty technologie je snaha o co největší tření mezi tažníkem a materiálem a co nejmenší tření ze strany tažnice. Maziva je vhodné využít také v kontaktu polotovaru a přidržovače, pokud je použit.

4 TECHNOLOGIE VÝROBY PROLISŮ [32], [33]

Podstata výroby prolisů vychází z lokální přeměny plochého povrchu na tvarový působením vysokého tlaku. Nedochozí zde ke změně tloušťky. Vtisk nástroje na jedné straně polotovaru je totiž vykompenzován vyvýšením na straně druhé. Využití tohoto procesu v praxi je značné, od speciálních zpevňovacích či vyztužovacích prolisů, přes značení součástí, až po dekorativní účely.

Využívá se také pro rovnání součástí z plechu, kdy je polotovar zmáčknut mezi profilované nástroje. Následně je provedeno vtlačení rastru nástrojů do materiálu, čímž dojde k uvolnění zbytkového napětí a tím vyrovnání dílce.

Není vhodné vytvářet příliš hluboké prolisy z důvodu praskání a zvlnění materiálu. Z toho důvodu jsou také funkční hrany nástrojů zaoblené. Na obrázku 30 je znázorněn princip výroby prolisů.



Obr. 30 Princip výroby prolisů [32]

4.1 Síla na prolisování [32], [33]

Pro výpočet prolisovací síly je nutno znát rozměry hotového prolisu, resp. všech prolisů, které se dělají na jeden chod stroje. Uvažuje se s promítnutou plochou čela lisovnicku se zanedbáním rádiusů. Výsledný rozměr dle obrázku 31 bude tedy:

$$S_{pr} = l \cdot b \quad (4.1)$$

kde: l , b – rozměry prolisu dle obrázku 31 [mm].

Výsledná prolisovací síla vychází ze vzorce:

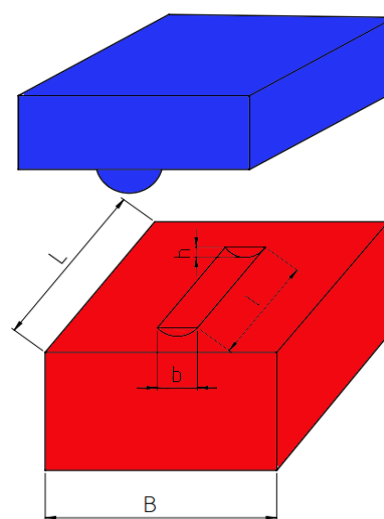
$$F_{pr} = S_{pr} \cdot k_r \quad (4.2)$$

kde: k_r – koeficient odolnosti proti deformaci [MPa].

Určení koeficientu k_r je složitější, protože jsou uvažovány dvě možnosti. První z nich uvažuje, že je umožněno odpružení materiálu, kdy lisovník do matrice zapadá s určitou vůlí. Tímto způsobem se zhotovují prolisy většinou dekorativní nebo pro popis součástí. Tato varianta je v literatuře často označována jako efekt měkkého dopadu lisovacího nástroje.

Druhou variantou, tzv. tvrdý dopad lisovacího nástroje, je neumožnění odpružení prolisu z důvodu tolerování jeho rozměrů. V tomto případě musí lisovník zapadnout do matrice odsazený přesně o tloušťku lisovaného materiálu, tedy bez jakékoliv mezery.

U této varianty může docházet k natahování materiálu a k jeho drobnému stlačení. Z toho důvodu se zde rozlišují rozdílné koeficienty k_r . V tabulce 6 jsou znázorněny součinitele k_r pro některé materiály.



Obr. 31 Rozměry nástroje během prolisu [32]

Tab. 6 Hodnoty koeficientu odolnosti proti deformaci k_r [32]

Materiál	k_r pro měkký dopad [MPa]	k_r pro tvrdý dopad [MPa]
hliník	50 ÷ 80	60 ÷ 120
mosaz	200 ÷ 300	600 ÷ 1 200
měď	100 ÷ 250	600 ÷ 1 200
ocel	350 ÷ 400	1 000 ÷ 2 500
nerezová ocel	600 ÷ 900	1 200 ÷ 3 000

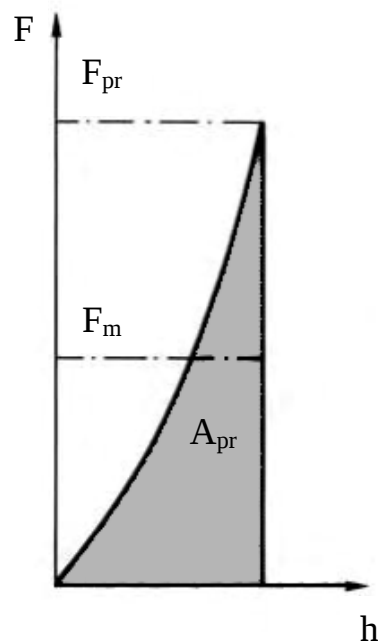
4.2 Práce při prolisování [32], [33]

Práce při procesu prolisování je definována vztahem:

$$A_{pr} = \frac{F_{pr} \cdot h_p}{2} = F_m \cdot h_p \quad (4.3)$$

kde: h_p – hloubka prolisu [mm],
 F_m – prolisovací síla napříč celým procesem [N].

Na obrázku 32 je znázorněna závislost prolisovací síly na hloubce prolisu a je zde zvýrazněna oblast pod tímto průběhem, která znázorňuje velikost práce.

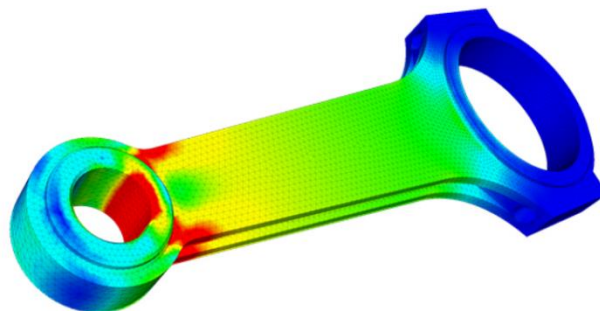


Obr. 32 Znázornění práce při prolisování [32]

5 NUMERICKÁ SIMULACE [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [41]

Numerické metody řešení patří vedle analytického přístupu mezi výpočtové metody řešení tvářecích procesů. V dnešní době jsou simulační procesy stejně důležité jako například návrh samotné technologie. Z výsledků simulace je možno získat představu o navrženém procesu a můžeme díky nim provést optimalizaci a tím ušetřit značné náklady na výrobu prototypů. Hlavním problémem je zejména správné definování vstupních parametrů o technologii a tvářených materiálech.

Pro simulace strojírenských procesů je možno využít velké množství specializovaných programů, které využívají geometrických, matematických a materiálových modelů. Základem takových programů jsou rozšíření pro CAD softwary jako je Autodesk Simulation a Solidworks Simulation, které ale mají pouze základní funkce. Druhou kategorií tvoří univerzální multifyzikální programy jako je ANSYS, Abaqus, LS-DYNA nebo Nastran. Poslední skupinu tvoří specializované programy určené pro danou oblast tváření. Pro objemové procesy jsou to programy například FormFEM, QForm, DEFORM a pro plošné Hydroform, PAM-Stamp, Autoform a Dynaform. Příklad obrazového výstupu ze simulačního programu, konkrétně programu ANSYS, je na obrázku 33.

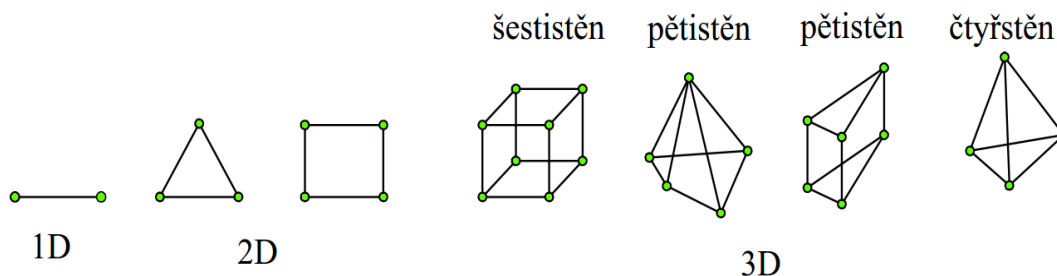


Obr. 33 Příklad obrazového výstupu ze simulace – program ANSYS [35]

MKP neboli Metoda konečných prvků, anglicky Finite element method – FEM, je jednou z možností numerických metod využívaných v technické praxi, mj. k simulaci plošného a objemového tváření. Další metody, které se hojně využívají jsou metoda konečných diferencí, oddělených prvků, konečných objemů a hraničních prvků. Podstata simulace vychází z nahrazení kontinua konečným počtem prvků, které dohromady tvoří síť. Výpočet je následně realizován právě přes tyto jednotlivé prvky sítě.

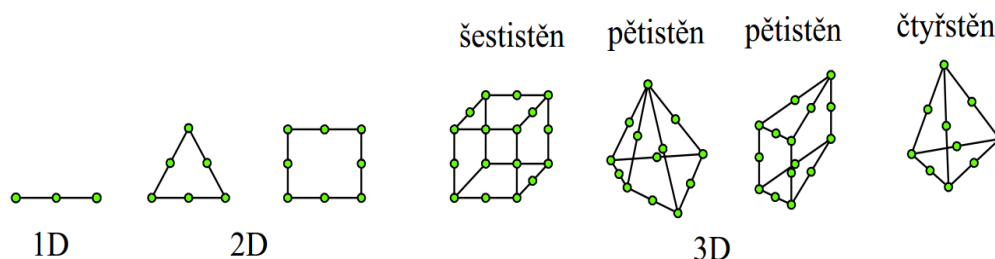
Diskretizace sítě spočívá v nahrazení objemu konečným počtem prvků. Základní typy prvků sítě lze rozdělit podle několika hledisek. Prvním z nich je rozdělení na základě dimenze, kdy se rozlišují 1D, 2D a 3D prvky. Další způsob dělení je na základě počtu uzlů prvku, a to na lineární a kvadratické.

Mezi lineární prvky 1D patří prutový prvek, který přenáší pouze osovou sílu, dále nosníkový prvek přenášející i ohyb. Posledním zástupcem této skupiny je rámový prvek, který je kombinací předchozích dvou. 2D prvky mohou být trojúhelníkové nebo čtyřúhelníkové. Největší skupinu tvoří 3D prvky, kam patří čtyřstěn (tetraedr), pětistěn (pentaedr), šestistěn (hexaedr) a skořepinový prvek (shell). Lineární prvky jsou zobrazeny na obrázku 34.



Obr. 34 Lineární prvky podle dimenze [34], [35], upraveno

Stejně jako první zmíněné lineární prvky, jsou kvadratické také rozděleny podle dimenze na 1D, 2D a 3D. Principem kvadratických prvků je, že v každé hraně mezi dvěma prvky je další prvek, což zajišťuje lepší popis geometrie i posuvů a to vede k lepším výsledkům. Mezi 1D prvky patří trojuzlový prutový (nosníkový) prvek. 2D prvky jsou šestiuzlový trojúhelníkový prvek a osmiuzlový čtyřúhelníkový prvek. Kvadratické prvky jsou zobrazeny na obrázku 35.



Obr. 35 Kvadratické prvky podle dimenze [34], [35], upraveno

Velmi důležitým faktorem při výpočtu je kvalita sítě a množství prvků. Z hlediska kvality sítě se rozeznává tzv. volná síť, která se tvoří automaticky a její tvorba je velmi jednoduchá. Pro některé výpočty, ale není vyhovující. Druhou možností je mapovaná síť, která se tvoří ručně, tutíž je kvalitnější a pro výpočet stabilnější. Nevýhodou je její velká pracnost. Množství prvků je velmi důležitým parametrem, protože pokud se zvolí příliš velké množství prvků, tak se značně prodlouží čas výpočtu, bez jeho zkvalitnění.

Celý proces výpočtu s využitím simulace se tedy rozděluje na tři hlavní části. První z nich je tzv. preprocessing, příprava geometrického modelu, diskretizace, definování okrajových podmínek a parametrů simulace. Následuje vlastní výpočet (processing), při kterém dojde k sestavení řešení maticových rovnic deformací a napětí. Poslední částí je tzv. postprocessing, kdy se provede vyhodnocení výsledků a jejich grafické zobrazení.

Využití MKP simulací má několik výhod. Díky postupnému výpočtu lze vyřešit libovolně složitou geometrii. Z toho důvodu je využívána pro velké množství inženýrských procesů. Mezi hlavní nevýhody lze zařadit problém při velké deformaci sítě, nevhodnost pro řešení diskontinua a neúměrně vysoké časy výpočtu pro složité úlohy.

5.1 Statické lineární a nelineární úlohy MKP [34], [35], [37], [39], [41]

Hlavní úvahou MKP simulace jsou lineární úlohy, které mají jednoznačné řešení. Výsledný stav modelu závisí na konečných hodnotách zadaných posunutí a zatížení bez ohledu na způsob, jakým se konečného stavu dosáhlo. Mnohdy se uvažuje ideálně lineární chování materiálu, které nemusí být v některých případech vhodné. Například pro simulaci porušení materiálu je vhodné využít spíše tzv. nelineární úlohy. Ty mají také řešení, které ale není jednoznačné. Základní rovnice pro lineární a nelineární úlohy jsou:

❖ Lineární:

$$F = K \cdot U \quad (5.1)$$

kde: F – globální matice zatížení,

K – globální matice tuhosti,

U – globální matice deformačních parametrů.

❖ Nelineární:

$$F = K(U) \cdot U \quad (5.2)$$

Rozlišují se tři druhy nelinearity a to geometrické, kontaktní a materiálové nelinearity. Geometrické nelinearity jsou způsobeny příliš velkými deformacemi nebo přetvořeními. U kontaktní nelinearity dochází k změně rozsahu a polohy stykových ploch. Materiálové nelinearity vznikají tehdy, když se materiálový model nechová podle lineárního Hookova zákona, ale závislost mezi napětím a deformací je složitější. Příkladem této nelinearity je tváření pomoci nepevného nástroje – gumy.

Nelineární úlohy není možné řešit pomocí přímých numerických metod, ale využívají se iterační metody. Hlavním úkolem je nalezení přibližného řešení pro neznámé hodnoty a následně výpočet optimalizovat až do doby, kdy velikost chyby odhadu je dostatečně malá.

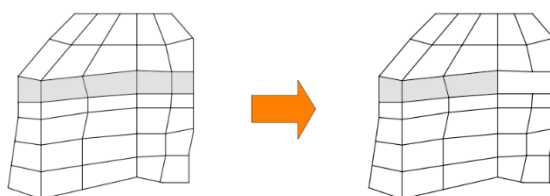
5.2 Realizace porušení materiálu v MKP [34], [35], [38], [39], [41]

Porušení sítě materiálu v MKP simulačních programech je realizováno na základě speciálních kritérií. Jako je například kritérium vzdálenosti uzlů, redukovaného přetvoření, hustoty energie atd. Tato kritéria jsou nejvíce využívána u simulací obráběcích procesů. Lze je rozdělit do tří základních skupin:

- ❖ **Kritéria mezní hodnoty** – nastane porušení materiálu po překonání nějaké významné mezní hodnoty.
- ❖ **Geometrická kritéria** – porušení je závislé na geometrické podmínce, jako například vzdálenost mezi nástroji u tvářecí operace.
- ❖ **Kritéria redukovaného přetvoření** – porušení nastane při dosažení mezní hodnoty přetvoření prvku.

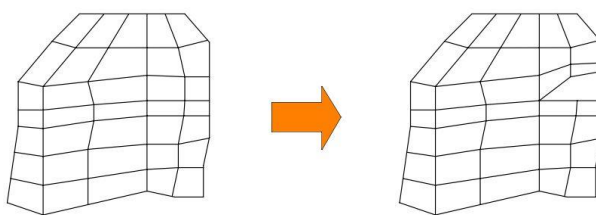
Drobné komplikace nastávají při zakomponování porušování materiálu do MKP výpočtu programu. Mezi nejvíce používané metody lze zařadit.

- **Odstranění prvků** – po dosažení kritéria porušení v prvku dojde k jeho odstranění, to má za problém odstranění hmoty. Což lze schematicky vidět na obrázku 36.



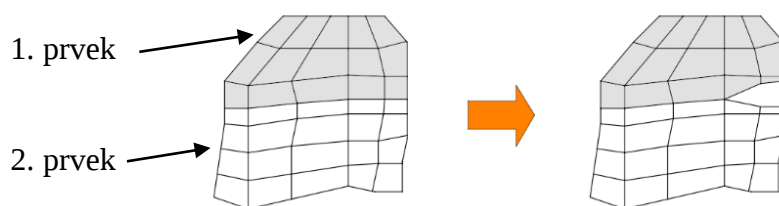
Obr. 36 Znárodnění principu oddělení prvků [38]

- **Rozdělení elementu** – nastane hrubé rozdělení segmentu na dva oddělené v rámci jednoho prvku. Následně prvky sítě ztrácejí vazbu mezi sebou a pohybují se. To je zobrazeno na obrázku 37.



Obr. 37 Znárodnění rozdělení elementu [38]

- **Porušení kontaktu mezi prvky** – oddělení dvou prvků od sebe a vznik trhliny na základě dosažení nějaké dříve definované hodnoty smykové síly nebo napětí, což je zobrazeno na obrázku 38. Hraniční hodnotu porušení vazeb je nutno definovat předem.

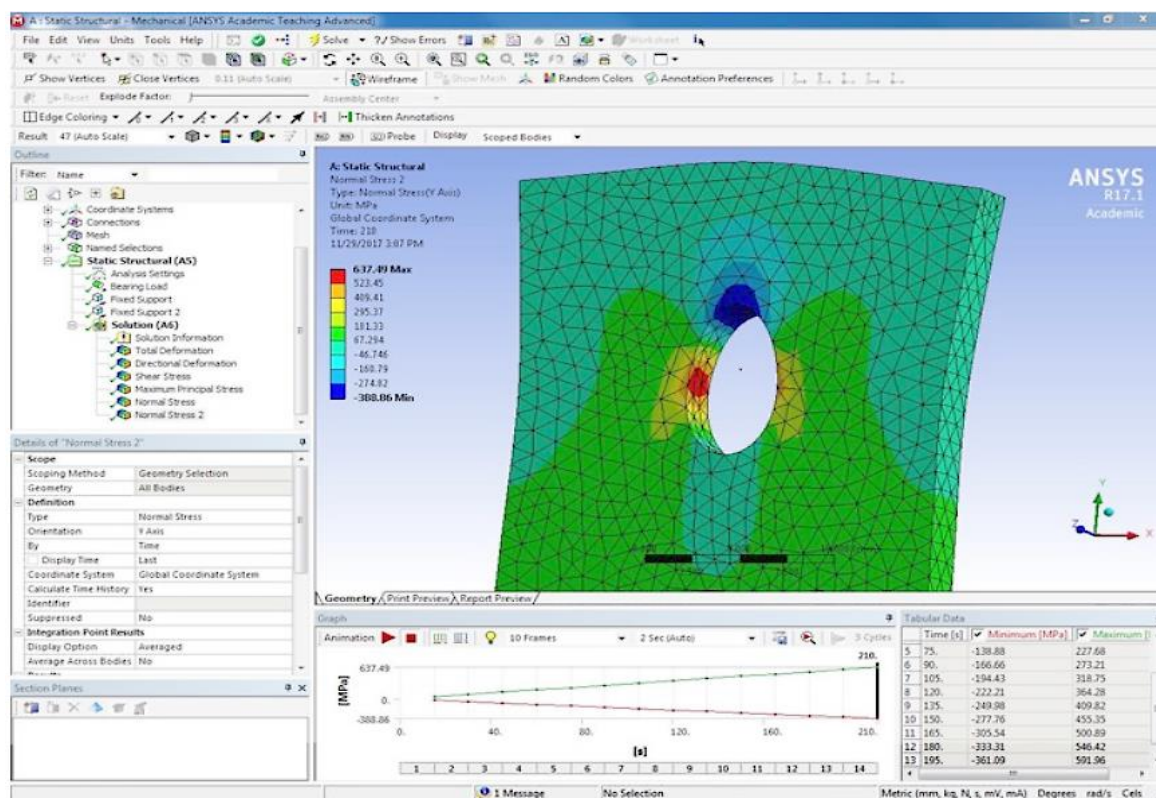


Obr. 38 Znázornění porušení kontaktu mezi prvky [38]

5.3 ANSYS [36], [39], [40]

Pro výše popsanou problematiku výroby prolisů je vhodné využít například program ANSYS. Což je celosvětově rozšířený simulační program od stejnojmenné americké společnosti, založené roku 1970. V dnešní době je jedním z nejpoužívanějších programů napříč různými odvětvími. Je rozdělen do několika modulů podle využití například Mechanical pro MKP simulace mechanických struktur, Fluent a CFX pro analýzu proudění a HFSS pro řešení elektromagnetických polí. Jedná se o modulární program, ve kterém si uživatel volí, které části bude zrovna využívat.

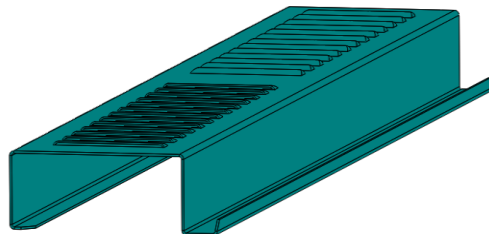
Nejpoužívanější je tzv. ANSYS Workbench, který je jedním z hlavních produktů společnosti. V tomto modulu lze i vytvářet některé jednodušší konstrukce nebo je přímo nainportována z nějakého CAD 3D softwaru. Po definování vstupních podmínek a materiálů lze provést velké množství analýz. Na obrázku 39 je zobrazena uživatelská obrazovka ANSYS Workbench.



Obr. 39 Uživatelské rozhraní programu ANSYS [40]

6 NÁVRH NÁSTROJE [42], [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49], [50], [51], [52]

Součást, pro kterou je navržen nástroj a která je zobrazená na obrázku 40, je segment silážního dna. Konkrétně je řešen návrh nástroje pro proseknutí a prolis 26 odvětrávacích otvorů umístěných na vrchní straně dílce. Na součásti je 5 ohybů a je vyrobena z materiálů Dx51D + Z 275. Nástroj je, z důvodu snazší manipulovatelnosti, rozdělen na horní a spodní část. Dimenzování funkčních částí je zvoleno na základě výpočtové části a následně se celý návrh optimalizuje dle simulace v programu ANSYS.



Obr. 40 Model součásti

Pro vytvoření nástroje jsou ze strany firmy stanoveny požadavky, které je vhodné splnit. Bezpochyby tím hlavním je optimalizace výrobního procesu výroby prolisu, respektive jeho co největší zkrácení. Je uvažován delší čas na nastavení stroje, ten se ale následně vykompenzuje na celkovém času výroby. Jako další je optimalizace hmotnosti vytvořeného nástroje. Není příliš vhodné, aby nástroj překračoval maximální hmotnost pro přenášení obsluhou dle BOZP, tj. v řešeném případě 50 kg.

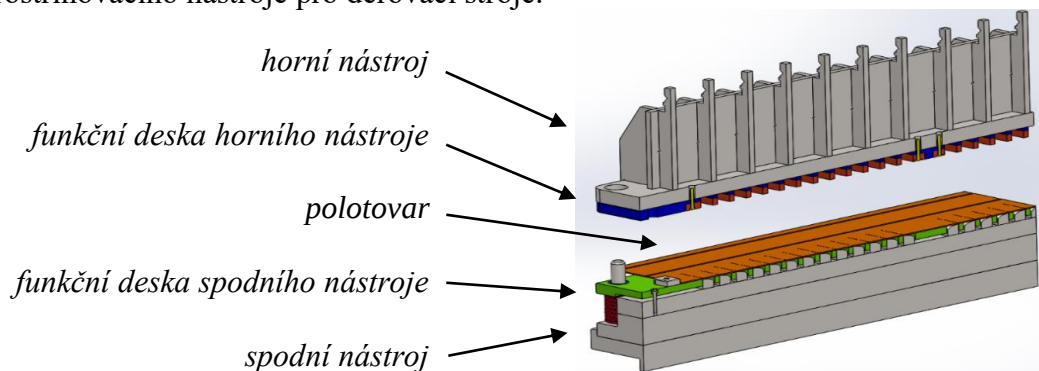
Třetím je zakomponování přídatných prvků do nástroje, mezi které patří pevný boční doraz a vyhazovač, nebo spíše dle podstaty pohybu vysunovač. Doraz urychlí práci při přenosu nástroje na jiný stroj, kdy operátor ve stroji vytvoří speciální program pro lisování a nemusí používat žádný přídatný boční doraz. Vyhazovač značně usnadní vysouvání hotových součástí z nástroje. Díky zakomponování zmíněných přídatných prvků je možno využít méně kvalifikované obsluhy a také se sníží počet neshodných výrobků při výrobě.

Čtvrtým požadavkem je zaručení dostatečné pevnosti a tuhosti celé konstrukce tak, aby byly všechny prolisy stejně hluboké. Hlavní obava je o prolisy na krajích dílce, kde se předpokládá nesprávné dolisování a tím pádem vznik neshodného kusu. Dále je požadováno, aby se co nejvíce komponent nástroje vyrobilo v režii firmy.

Posledním, ale za to jedním z nejdůležitějších požadavků, je přestavitelnost nástroje. Uvažuje se, že ze strany zákazníka může přijít požadavek na změnu součásti. Jak se uvádí v úvodu, zákazník za životnost výrobku 6 let již jednu značnou změnu provedl. Pokud není nástroj dostatečně variabilní, musí se pro každou další variantu vyrábět znovu, což vede k zbytečnému zvyšování vedlejších nákladů na díl.

6.1 Podstata funkce nástroje

Nástroj je složen z horní a spodní části a jeho části jsou zobrazeny na obrázku 41. Podstata fungování navrženého nástroje se zakládá na principu fungování prolisovacího a prostřihovacího nástroje pro děrovací stroje.

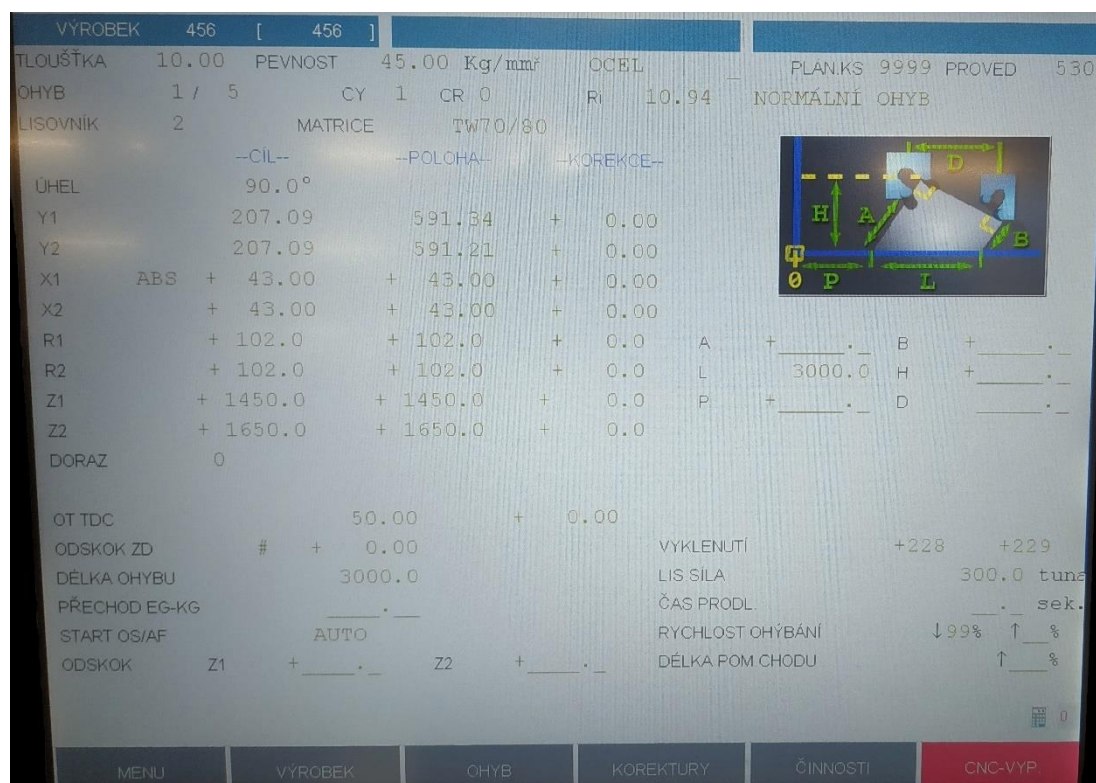


Obr. 41 Schéma složení nástroje s popisem

Polotovár je položen mezi horní (modrou) a spodní (zelenou) desku. Dorazí se na boční a zadní doraz. Následně se sevře nástroj a tím se vyvodí dostatečně velká síla mezi deskami, a tedy síla přidržovače. Posunem horního nástroje dojde k prostřížení a následnému prolisování požadovaného tvaru profilu. Po odtížení a pohybu beranu horním nástrojem vzhůru funguje základní deska spodního nástroje jako vyhazovač. Tato deska je umístěna na pružinách, které zajistí dostatečnou oporu při prostřížení dílce a také při jeho vysunutí. Následně je prolisovaný dílec vyjmut z nástroje a uloží se na paletu.

Popis nastavení práce na stroji je následující. Operátor vloží do stroje horní i spodní nástroj a provede jejich ustavení vůči sobě pomocí úhelníku a ustavovacích čepů. Vytvoří speciální program pro lisování, kde jsou důležité zejména nastavení tlaku, hloubky sjezdu beranu a osy „x“ zadních dorazů. Výjezd beranu stroje je nastaven okolo 10 mm, aby se umožnila jednoduchá manipulace s výrobkem a čas chodu stroje se uměle nezvětšoval. Rychlost pojezdu beranu se ponechá dle doporučení stroje. Jako poslední je provedena korekce nastavených hodnot podle testovacího kusu. Zejména úprava hloubky sjezdu beranu je velmi důležitá, protože právě ta určuje správnou hloubku hotového prolisu.

Na obrázku 42 je zobrazena obrazovka stroje s nastavením programu. Kde je důležité zejména nastavení délky ohybu, podle které se mimo jiné určuje lisovací síla, která je také na obrazovce zobrazena. Dále je klíčové nastavení osy x (x_1 a x_2), což reprezentuje polohu dorazu, a tedy osu ohybu.



Obr. 42 Obrazovka stroje s nastavením programu

6.2 Výpočtová část [1], [2], [3], [44], [45], [46], [47], [48], [49], [50], [51]

Pro správné dimenzování součástí nástroje je stěžejní, aby se provedly všechny potřebné výpočty. Následně je nutno se zaměřit zejména na volbu pružin, které zajišťují správnou funkci spodní části nástroje. Z důvodu, že se jedná o kombinaci technologií, je výpočet realizován pro jednotlivé operace, tedy odděleně pro stříhání a prolisování.

- ❖ **Střížná a tažná mezera** – velikost střížné mezery „v“ je důležitá pro správné odsazení střížníku a střížnice při části procesu stříhání. Tato mezera musí být pouze na straně, kde je prolis porušen. Okolní druhé strany budou tvořeny velikostí tažné mezery „z_m“ a zadní část bude zvolena libovolně, jelikož není nijak specifikována ve výkrese zákazníka „z_{m2}“. Správná volba střížné a tažné mezery má velký vliv na celkové zatížení nástroje. Detail tažných a střížné mezery je zobrazen na obrázku 43.

Střížná mezera je určena dle vzorce (2.2):

$$v = c \cdot t \cdot \sqrt{\tau_{PS}} = 0,05 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{0,8 \cdot 500} = 1,5 \text{ mm}$$

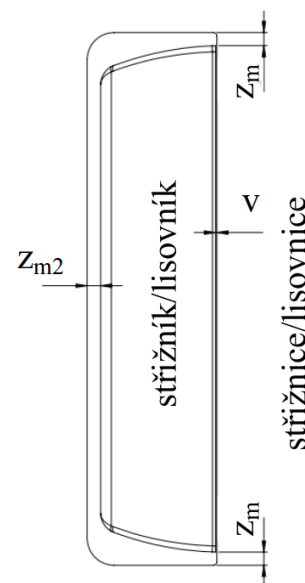
Tažná mezera z_m se určí vzorcem (3.10):

$$z_m = (1,2 \div 1,3) \cdot t = 1,25 \cdot 1,5 = 1,875 \text{ mm}$$

Tažná mezera z_m je pro jednoduchost výroby zaokrouhlena na hodnotu 1,9 mm.

Tažná mezera z_{m2} je zvolena na velikost: z_{m2} = 3 mm.

Vypočtené tažné mezery budou tedy dle obrázku uvažovány 1,88 a 3 mm a střížná mezera velikosti 1,5 mm.



Obr. 43 Detail mezer mezi nástroji

- ❖ **Střížná síla** – ta je dle podstaty fungování nástroje větší než síla na tažení, respektive prolisování. Výpočet potřebné tvářecí síly je důležitý zejména pro zvolení stroje, na kterém se bude proces realizovat. Střížná síla je vypočtena ze vzorce (2.5).

$$F_S = n \cdot L_P \cdot t \cdot \tau_{PS} = n \cdot L_P \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m$$

kde: L_P – celková délka stříhu, pro 26 prolisů, každý délky 75 mm [mm]

$$L_P = 26 \cdot 75 = 1950 \text{ mm}$$

$$F_S = 1,15 \cdot 1950 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot 500$$

$$F_S = 1,345 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Pro volbu stroje je vhodnější, aby byla střížná síla vyjádřena v Kg, resp. t, protože právě takto je označováno maximální dovolené zatížení u ohraňovacích lisů. Přepočet je proveden takto:

$$F_s' = \frac{F_S}{9,8067} = \frac{1\,345\,000}{9,8067} = 137\,152,53 \text{ Kg}$$

Vypočtená síla tedy odpovídá zatížení 137 153 Kg a tedy 137 t. Toto potřebné zatížení ve firmě splňují dva stroje a to Trumpf 5170 – 170 t a Ursviken OptiFlex – 320 t. Pro výrobu prolisů je tedy zvolen stroj Ursviken, zejména z důvodu bezpečného dimenzování zatížení a taktéž ke zvýšení jeho momentálně menšího využití. Hlavní charakteristiky tohoto stroje jsou zobrazeny v tabulce 7 a stroj je zobrazen na obrázku 44.

Tab. 7 Vlastnosti stroje Ursviken OptiFlex 320 [9], [48]

Jmenovitá tvářecí síla	320 t
Ohraňovací délka	3 100 mm
Maximální tloušťka ohýbaných dílců	12 mm S355MC, délka 3 100 mm
Maximální zdvih	400 mm
Počet os dorazů	6



Obr. 44 Ursviken OptiFlex 320 [48]

- ❖ **Střížná práce** – pro jejíž výpočet je dle obrázku 22 zvolen součinitel plnosti pro tloušťku 1,5 mm a dané τ_{PS} 0,58. Střížná práce se určuje dle vzorce (2.7):

$$A = \lambda \cdot F_{smax} \cdot t$$

$$A = 0,58 \cdot 1,345 \cdot 10^6 \cdot 1,5 = 9,36 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Velikost střížné práce bude tedy $9,36 \cdot 10^5 \text{ J}$

- ❖ **Síla a práce tažení** – ty je nutno pro úplnost výpočtu doplnit také i přes to, že jejich velikost je oproti střížné síle značně menší. Výpočet střížné síly vychází ze vzorce (3.4):

$$F_t = t_0 \cdot R_m \cdot (2 \cdot \pi \cdot R \cdot C_1 + L_r \cdot C_2)$$

t – 1,5 mm,
 R – poloměr zaoblení výtažku – uvažováno – 3 mm,
 C_1 – zvoleno - 0,5,
 C_2 – zvoleno – 0,3,
 L_r – délka rovné části – 64,5 mm,

$$F_t = 1,5 \cdot 500 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 0,5 + 64,5 \cdot 0,3) = 21\,581,08 \text{ N} = 21,58 \text{ kN}$$

Pro určování práce při tažení je nutno s celkovou silou při tažení, tedy tažnou a silou přidržovače, která je vypočtena v dalším bodu. Výpočet tažné práce vychází ze vzorce (3.5), kde:

k_1 – součinitel průběhu tažné síly – 0,7
 h_t – hloubka tažení – 3 mm

$$A_t = \frac{k_1 \cdot F_c \cdot h_t}{1000} = \frac{k_1 \cdot (F_t + F_p) \cdot h_t}{1000}$$

$$A_t = \frac{0,7 \cdot (21\,581,08 + 132\,556) \cdot 3}{1000} = 323,68 \text{ J}$$

Tažná síla je tedy výpočtem určena 21,58 kN, což je podle představ oproti střížné síle téměř zanedbatelné. Velikost práce při tažení je vypočtena 323,68 J.

- ❖ **Síla přidržovače** – která je z hlediska principu funkce nástroje velmi důležitá. Je totiž tak velká, aby při prolisování deska dostatečně přidržovala dílec, ale také zabezpečila správné prostřížení.

Působení této síly se realizuje na základě pružin umístěných pod základní deskou spodního nástroje. Celková potřebná síla přidržovače vychází ze vztahu (3.2):

kde: S_p – plocha působení přidržovače [mm]

$$S_p = S_d - x_p \cdot S_{os} \quad (6.1)$$

kde: S_d – plocha kontaktu nástroje a dílce [mm²],

x_p – počet prolisů [-],

S_{os} – plocha otvoru v nástroji pro 1 prolis [mm²].

$$S_p = 780 \cdot 150 - (26 \cdot 19 \cdot 79)$$

$$S_p = 77\,974 \text{ mm}^2$$

Výsledná síla přidržovače bude tedy:

$$F_p = 77\,974 \cdot 1,7 = 132\,556 \text{ N}$$

Podle této vypočtené hodnoty se určila velikost pružin. Síla je navýšena na bezpečnou hodnotu kompenzující hmotnosti součástí a ostatní vlivy. Pro výpočet a návrh pružin se tedy uvažuje s vypočtenou silou zvětšenou z důvodu bezpečnosti na 135 000 N.

Návrh pružin je omezen podle možností soustavy spodního nástroje. Pro přenos tak velkých přitlačných sil klasické tlačné pružiny z pružinové oceli nepostačují. Z toho důvodu se uvažuje pouze s využitím nástrojových pružin z vysoce kvalitní chrom – vanadové oceli, které jsou schopny přenést velmi velké zatížení a zajišťují dle výrobce dostatečnou životnost.

Podle navrženého průměru čepu 16 mm je zvolena pružina dle obrázku 45, jejíž tuhost je $k = 1\,300 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$. Podle potřebné síly přidržovače je nutno určit potřebný počet pružin. Pokud je příliš velký, musí se zvolit pružiny jiných rozměrů.

Nejprve je nutno určit maximální sílu, kterou je schopná přenést jedna pružina dle vztahu:

$$F_x = y \cdot k \quad (6.2)$$

kde: k – tuhost pružiny [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$] – $1300 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$,
 y – stlačení pružiny [mm].

$$y = L_0 - L_n \quad (6.3)$$

kde: L_0 – volná délka pružiny [mm],
 L_n – zatížená délka pružiny [mm].

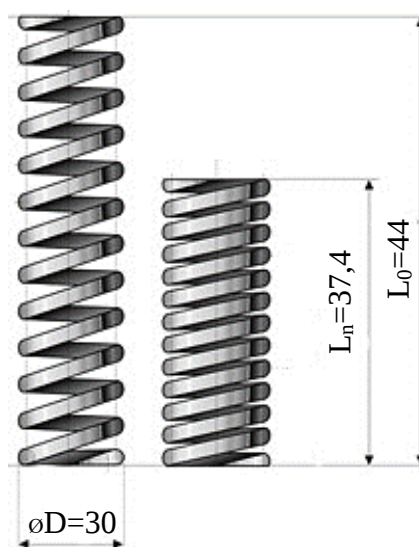
$$y = 44 - 37,4 = 6,5 \text{ mm}$$

$$F_x = 6,5 \cdot 1\,300 = 8580 \text{ N}$$

Z této vypočtené síly, kterou vyvine jedna pružina a potřebné přidržovací síle lze určit přesný počet pružin „x“ ze vztahu:

$$x = \frac{F_p}{F_x} = \frac{135\,000}{8\,580} = 15,7$$

Zaokrouhlením je zjištěno, že do spodního nástroje je nutné použít 16 kusů navržených pružin. Což se jeví jako přijatelné i z hlediska bezpečného zvýšení přidržovací síly.



Obr. 45 Schéma zvolené tlačné pružiny [50]

6.3 Horní nástroj [45], [47], [51], [52], [53], [54], [55], [56]

Celkovou tuhost a pevnost sestavy horní části nástroje udává svařenec tzv. kostra z jednotlivých výpalků plechu S355MC tloušťky 8 mm. Základní mechanické vlastnosti materiálu jsou zobrazeny v tabulkách 8 a 9. Tento materiál je zvolen z toho důvodu, že má nejlepší mechanické vlastnosti ze všech materiálů, které se ve firmě běžně zpracovávají. Výpalky se provedou tedy v režii firmy, dělením na laserovém stroji a následně jsou svařeny. K základní konstrukci se přišroubuje funkční deska s vodícími pouzdry, jež zajistí správné ustavení horního vůči spodnímu nástroji.

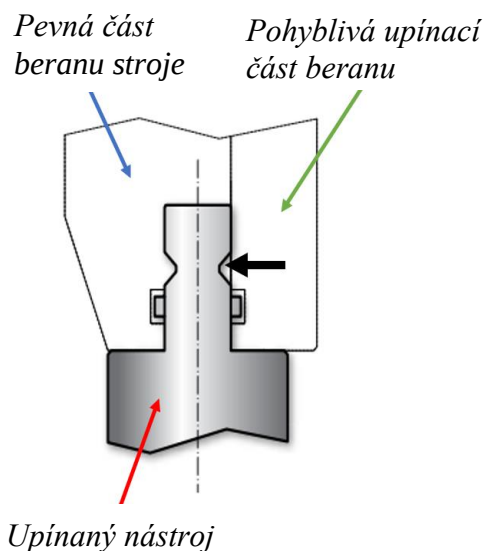
Tab. 8 Mechanické vlastnosti S355MC [49]

Mez pevnosti [MPa]	Mez kluzu [MPa]	Tažnost A80 [%]
430–550	355	19

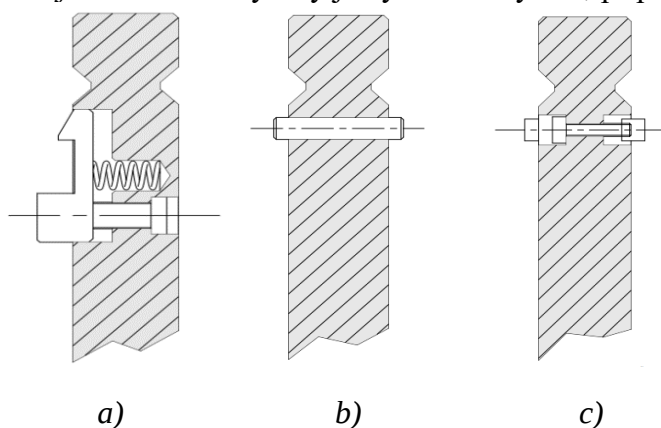
Tab. 9 Chemické složení S355MC [49]

C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	Al [%]	Nb [%]
0,1	1,4	0,03	0,02	0,008	0,015	0,05

Upnutí do beranu se realizuje speciálními prvky na horní straně kostry vycházející z upínacího systému Willa. Způsobů upínání ohraňovacích nástrojů je velké množství. Jelikož se ve firmě používají pouze nástroje TRUMPF, který využívá právě upínání typu Willa, je tomu bude uzpůsoben i tento nástroj. Schéma principu upínání je na obrázku 46. Pro upínání jsou používány 3 způsoby úpravy nástroje. Prvním z nich je „zacvakávací“ bezpečnostní kolík tzv. „Safe – Click“, který je využit spíše u kratších nástrojů nižších hmotností. Druhým je způsob uchycení pevným kolíkem a třetí je tzv. bezpečnostní klín. Dva poslední způsoby se využívají zejména u větších nástrojů. Z pohledu bezpečnosti je nejvhodnější využití pevného kolíku. Mnohdy se, zejména u opotřebovaných nástrojů, může klín uvolnit a nástroj z beranu vypadnout. Všechny možnosti jsou zobrazeny na obrázku 47. Pro jednoduchost výroby je využito uchycení, připomínající druhou variantu pevného kolíku.



Obr. 46 Princip upínání Willa [54]



- a) bezpečnostní kolík
- b) pevný kolík
- c) bezpečnostní klín

Obr. 47 Schémata způsobů upínání [55]

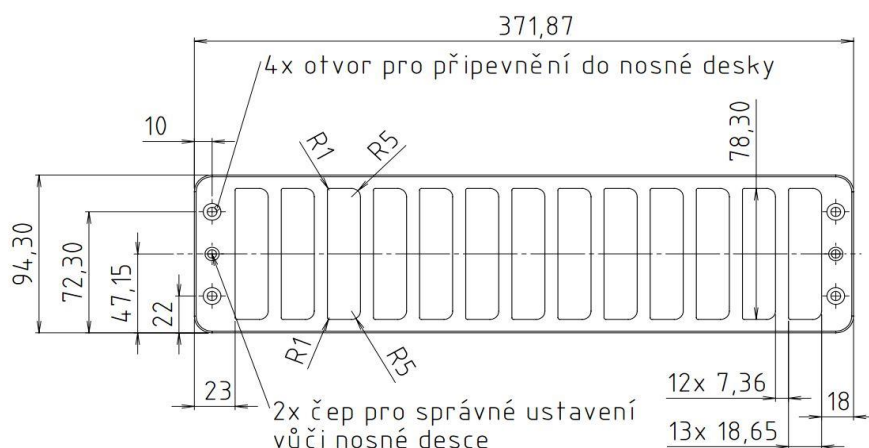
Pro výrobu funkčních částí nástroje jsou uvažovány dvě varianty. První z nich je možnost výroby celé funkční desky z jednoho kusu zvolené nástrojové oceli o potřebných mechanických vlastnostech. Druhou možností je, že nosnou část desky tvoří výpalek z materiálu S355MC potřebné tloušťky. Funkční části jsou ve formě vložek z nástrojové oceli přišroubovány do nosné části. Ze zmíněných dvou variant se nejen z hlediska ekonomiky jeví výhodněji vložková varianta.

Po vyřezání nosné desky se provede obrobení součásti pro zalisování pouzder čepů, zahlbounění pro šrouby a vedení pro uložení vložek. Vložky jsou vyrobeny z materiálu 19 191, jehož chemické složení je v tabulce 10. Tato ocel je zvolena zejména kvůli vysoké tvrdosti zakalené vrstvy, vysoké houževnatosti, dobré obrobitelnosti, příznivé ceně a také předpokládané životnosti součásti okolo 50 000 chodů.

Tab. 10 Chemické složení oceli 19 191 [56]

C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]
0,95-1,09	0,20-0,35	0,15-0,30	max 0,025	max 0,030	max 0,15

Celá tato soustava se do kostry horního nástroje připevní šrouby se zápusťnou hlavou. Při opotřebení nějaké funkční části může dojít k jednoduché výměně za novou, bez dlouhé prodlevy výroby součástí nástroje. Při požadavku například na změnu počtu prolisů, nebo jejich rozměr, tak je vyměněna celá soustava nosné desky a vložek. Část výkresu vložky horní desky je zobrazena na obrázku 48.

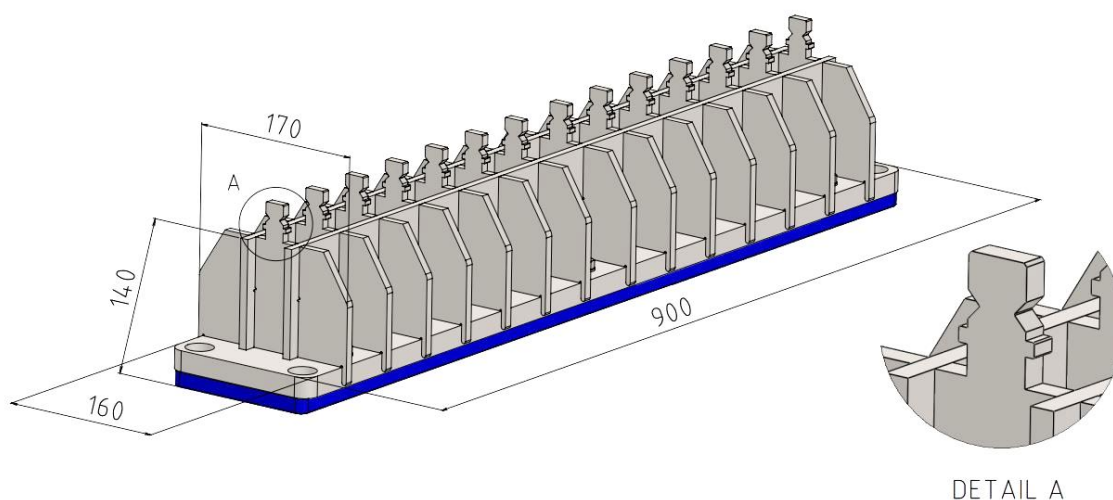


Obr. 48 Výřez výkresu vložky horní desky

Pro přesné ustavení každé funkční vložky a základní kostry nástroje se použije 2 čepů, které jsou zalisovány do předpřipravených děr ve vložkách a funkční desce. Uvažuje se využití čepů ISO 2341-A – 5x30 – St z automatové oceli.

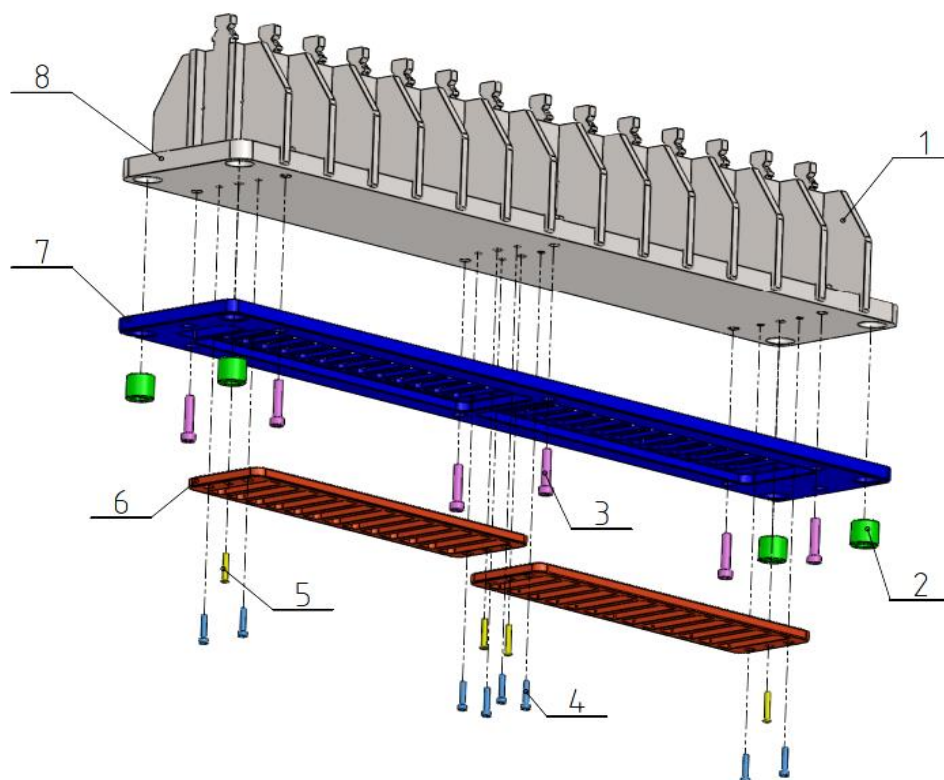
Do nosné desky jsou taktéž zalisovány čtyři vodící pouzdra s vnitřním průměrem 16 mm a vnějším 26 mm délky 20 mm. Tato pouzdra jsou vedena pouze ve zmíněné funkční desce, k základní kostře nikoliv.

Velmi důležitým hlediskem při návrhu nástroje je jeho celková velikost. Šířka a délka jsou navrženy s přihlédnutím k vyvození požadované síly přidržovače vypočtené v předchozí kapitole. Pro jednoduchost tvorby programu na ohraňovací lis je nutné, aby celková výška nástroje zůstala stejná, jako jsou již existující nástroje ve stroji a to 140 nebo 220 mm bez upínacích adaptérů. Software totiž pracuje s DXF obrysem nástroje pro výpočet funkčních výšek procesu. Jelikož na stroji Ursviken musí být umístěn adaptér na Trumpf uchycení, který má výšku 40 mm, je celková výška kostry se základní deskou navržena na 140 mm. Na obrázku 49 jsou zobrazeny základní rozměry horního nástroje s detailním zobrazením upínání.



Obr. 49 Model horního nástroje s detailem upínání do beranu stroje

Z následujícího obrázku 50 je zřejmé celkové složení nástroje, počet jednotlivých součástí a způsob kompletace.



- 1) kostra horního nástroje, 2) ustavovací čepová pouzdra, 3) šroub M8 x 40,
4) šroub M5 x 25, 5) ustavovací čepy 5x30, 6) vložka funkční desky, 7) funkční deska,
8) upínací deska

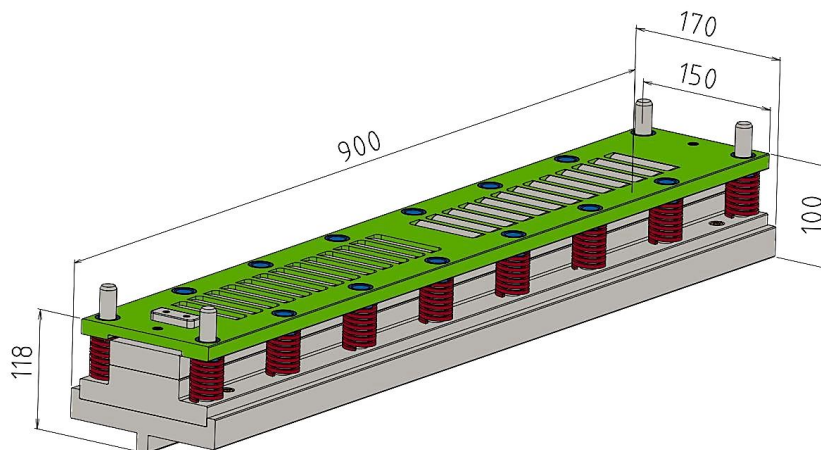
Obr. 50 Rozložený pohled na horní nástroj

Takto navržený nástroj má hmotnost okolo 57 kg, což nepatrně převyšuje požadavky firmy. Pro jednoho operátora je manipulace s nástrojem příliš náročná, a proto se přistupuje k optimalizaci nástroje na základě simulace v kapitole 6.6.

6.4 Spodní nástroj [45], [47], [51], [52], [53], [56], [57], [58]

Oproti hornímu nástroji je spodní značně komplikovanější. Je složen z dvou nosných desek a dvou funkčních desek, kdy v jedné z nich se umístí vložky se segmentovanými střížníky/lisovníky. Druhá deska tvoří přídržovač a vyhazovač. Horní přídržovací deska je oproti spodním vedena přes čepy. Její pohyb zaručuje 16 pružin vedených těmito čepy a proti vypadnutí při manipulaci se zajišťuje dvěma šrouby.

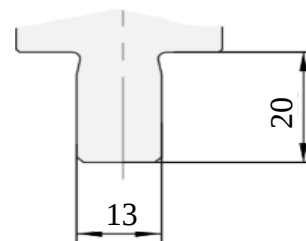
Stejně jako u horního nástroje je pro program ve stroji důležitá čistá výška nástroje bez upínání, která musí být 100 mm nebo 55 mm. Z důvodu velikosti navržených pružin je nástroj navržen na 100 mm čisté výšky bez upínání. Základní rozměry navrženého nástroje jsou na obrázku 51.



Obr. 51 Pohled na složený spodní nástroj

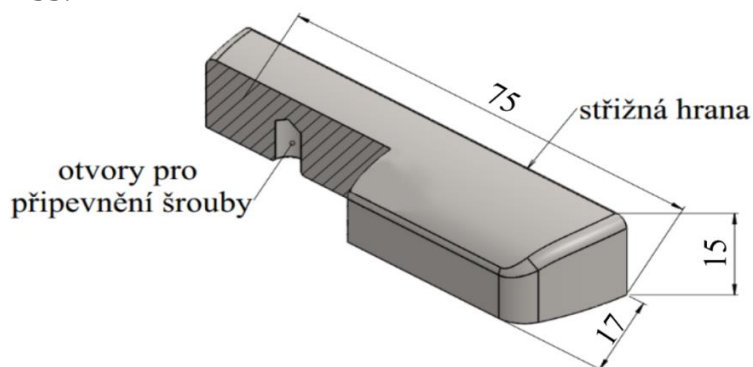
Stejně jako u horního nástroje se nosné části desek vytvoří z materiálu S355MC různých tlouštěk a obrobí na požadované rozměry. Nejvíce namáhané funkční části, střížníky a vyhazovací deska, jsou z jiných materiálů.

Upínání spodního nástroje, je oproti hornímu, značně jednodušší. Realizuje se pouze výstupkem na spodní straně, který je následně hydraulicky upnut do stolu stroje. Upnutí musí zaručovat rovnoběžnost nástroje vůči zadním dorazům, a z toho důvodu vyrobí s přídavkem a následně obrobí. Rozměry použitého upínání jsou zobrazeny na obrázku 52.



Tvarově nejsložitějšími prvky nástroje jsou zřejmě střížníky/tažníky. Ty se vyrobí ve formě vložek, zejména z důvodu snadného opracování a variability, z oceli 19 191. Jednotlivé střížníky jsou jednoduchost výroby vyrobeny samostatně a následně zašroubovány do upínací desky pomocí 2 šroubů. Model střížníku je zobrazen na obrázku 53.

Obr. 52 Schéma spodního upínacího prvku [54]



Obr. 53 Základní rozměry střížníku

Přidržovací deska je provedena z jednoho kusu oceli 12 061, jejíž mechanické vlastnosti a chemické složení je zobrazeno v tabulce 11. Tento materiál je zvolen z důvodu snadné obrobitelnosti a dostatečné pevnosti. Po obrobení jsou do ní zalisována pouzdra pro vedení čepů.

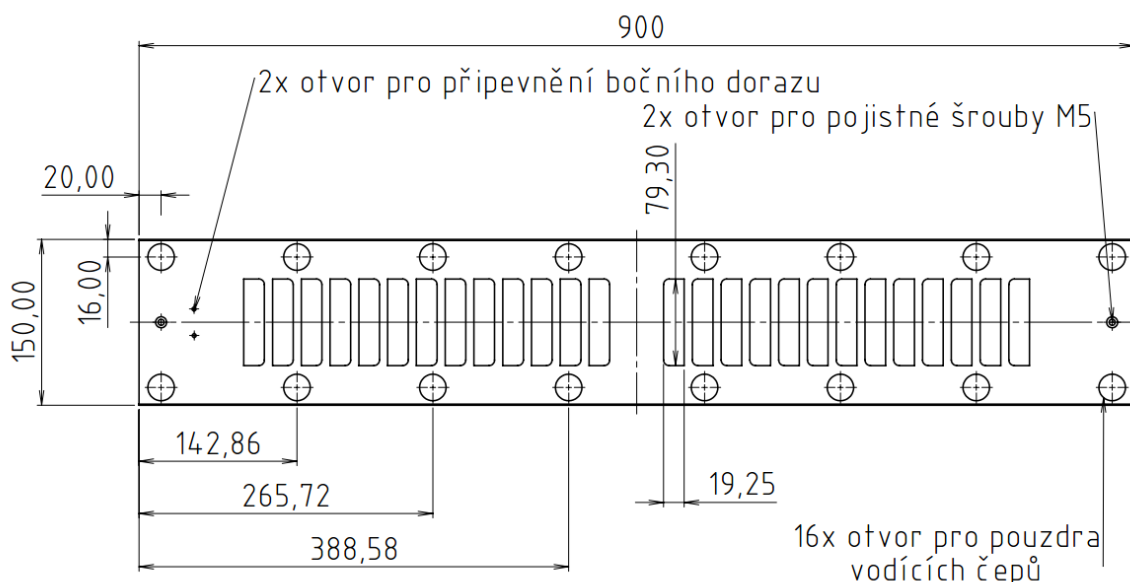
Tab. 11 Mechanické vlastnosti a chemické složení materiálu 12 061 [57]

Mechanické vlastnosti							
Pevnost v tahu R _m [MPa]		Mez kluzu Re [MPa]		Tažnost A ₁₀ [%]			
800-950		500		13			
Chemické složení							
C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	Cu [%]
0,55-0,65	0,50-0,80	0,15-0,40	max. 0,04	max. 0,04	max. 0,25	max. 0,30	max. 0,30

Dle obrázku 51 je zřejmé, že 4 krajní vodící čepy $\varnothing 16$ mm přesahují přidržovací desku a zabezpečují správné ustavení spodního nástroje vůči hornímu. Tvoří tedy vodící sloupky a jejich vůle oproti pouzdrům v horním nástroji vymezuje správnou střížnou vůli. Tyto čepy jsou z automatové oceli 11 140, která je vhodná pro součásti vyráběné na tvářecích automatech. Její chemické složení je v tabulce 12.

Tab. 12 Chemické složení oceli 11 140 [58]

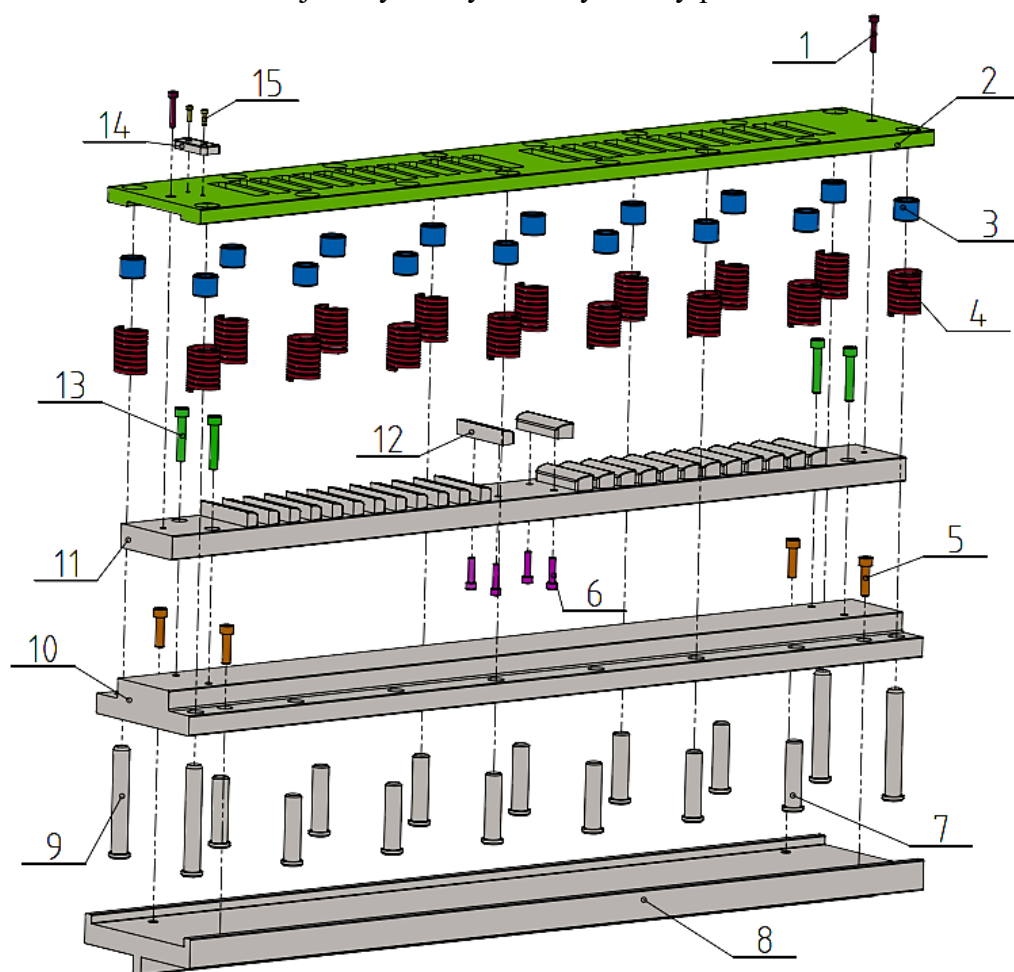
C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]
0,35 - 0,45	0,50 – 1,00	max 0,40	max. 0,10	0,11 – 0,21



Obr. 54 Výřez výkresu přidržovací desky

Na obrázku 54 je zobrazena část výkresu přidržovací desky, kde jsou vyznačeny dva otvory pro pojistné šrouby zabráňující nechtěnému vypadnutí desky při manipulaci a dále dva otvory pro přišroubování speciálního bočního dorazu. Ztenčení desky v prostřední části slouží pro snížení hmotnosti desky a také umožňuje snížit výšku střížníku, které touto deskou pronikají a prostřihují polotovary.

Na obrázku 55 je zobrazen rozložený pohled na spodní nástroj. Pro zjednodušení a přehlednost, je zobrazen náčrt složení pouze u některých střížníků a vodících čepů. Jednotlivé druhy šroubů jsou odlišeny barevně. Je využito šroubů s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem. Pro názornost nejsou vyneseny všechny šrouby pozice 6.



- 1) 2x šroub M5 x 30, 2) přidržovací deska, 3) 16x vodící pouzdra, 4) 16x pružina, 5) 4x šroub M8 x 30, 6) 52x šroub M6 x 25, 7) 12x vodící čep, 8) základní deska, 9) 4x vodící sloupky, 10) opěrná deska, 11) upínací deska, 12) střížník/ lisovník, 13) 4x šroub M8 x 45, 14) boční doraz, 15) 2x šroub M3 x 12

Obr. 55 Rozložený pohled na spodní nástroj

Z obrázku 55 je také zřejmý způsob kompletace nástroje. Nejdříve se zalisují čepy do opěrné desky a následně i s touto deskou přišroubují k základní. Střížníky se připevní k upínací desce a ta se našroubuje do opěrné desky. Na čepy jsou umístěny pružiny a přidržovací deska s čepovými pouzdry a bočním dorazem. Dále se zajistí proti nechtěnému vypadnutí dvěma šrouby, které ale nezamezí funkčnímu pohybu desky. Při dotahování šroubů nesmí dojít k takovému stažení, které zapříčiní vysunutí střížníků nad desku bez zatížení. Takto sestavený nástroj má odhadovanou hmotnost okolo 87 kg, což značně nesplňuje požadavky firmy. Takže je vhodné nástroj také simulovat pro optimalizaci váhy.

6.5 Ověření navrženého nástroje pomocí simulace [59], [60]

Pro ověření správného fungování nástroje je velmi důležitá simulace procesu stříhání a tažení. Simulací se ověří návrh funkčních ploch nástrojů, zejména střížníků. Taktéž se určí střížná práce a síla, čímž je ověřen její výpočet v kapitole 6.2. Pro zjištění materiálového modelu jsou provedeny zkoušky materiálových vlastností, a to tahová a smyková zkouška.

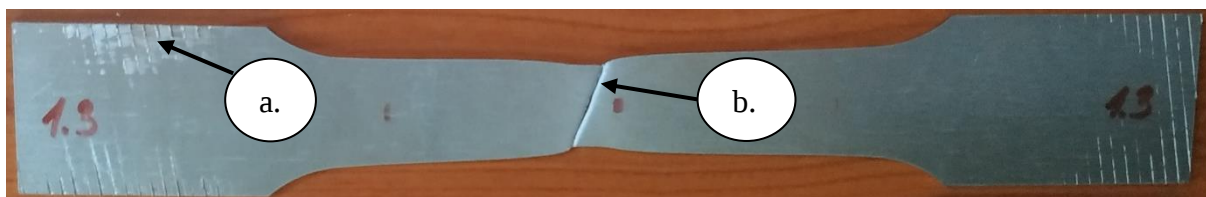
6.5.1 Tahová a smyková zkouška [59], [60]

Testy jsou realizovány v laboratoři mechanických vlastností materiálů Odboru technologie tváření kovů a plastů ÚST na stroji ZD 40, který je zobrazen na obrázku 56. Vzorky byly vyřezány na laseru ve firmě Technologické centrum a celkově se zkouška pro názornost provádí na několika vzorcích. Při testech nastal velký problém s prokluzováním vzorků v čelistech zkušebního stroje, což bylo způsobeno vrstvou zinkového povlaku. Stopy po upínacích kleštích a jejich prokluz je zřejmý z obrázku 57a.

Jako první byla provedena klasická tahová zkouška. Na obrázku 57b je zobrazena výsledná linie utržení materiálu, která je u této zkoušky orientována po šířce vzorku. U zkoušky byly testovány celkem 4 vzorky.



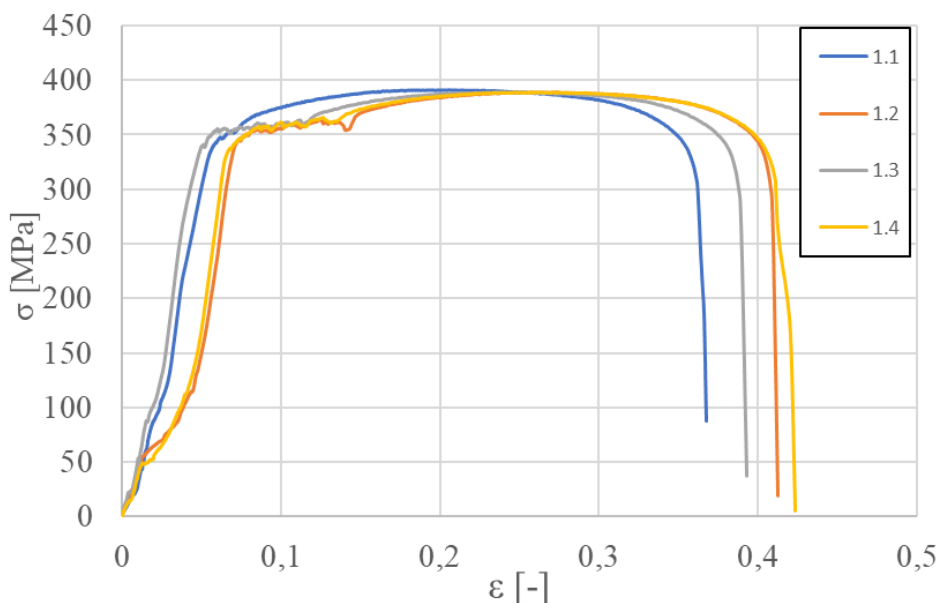
Obr. 56 Stroj ZD 40



a) stopy po prokluzu upínacích kleštích při zkoušce b) výsledná linie utržení materiálu

Obr. 57 Detaily vzorku po provedení tahové zkoušky

Jako výstup tahové zkoušky jsou vykresleny grafy závislosti napětí na deformaci pro jednotlivé vzorky, které jsou zaneseny do obrázku 58. Z obrázku jsou zřejmé chyby na začátku zkoušky, jež právě charakterizují prokluz vzorku a jsou v dalším výpočtu zanedbány.



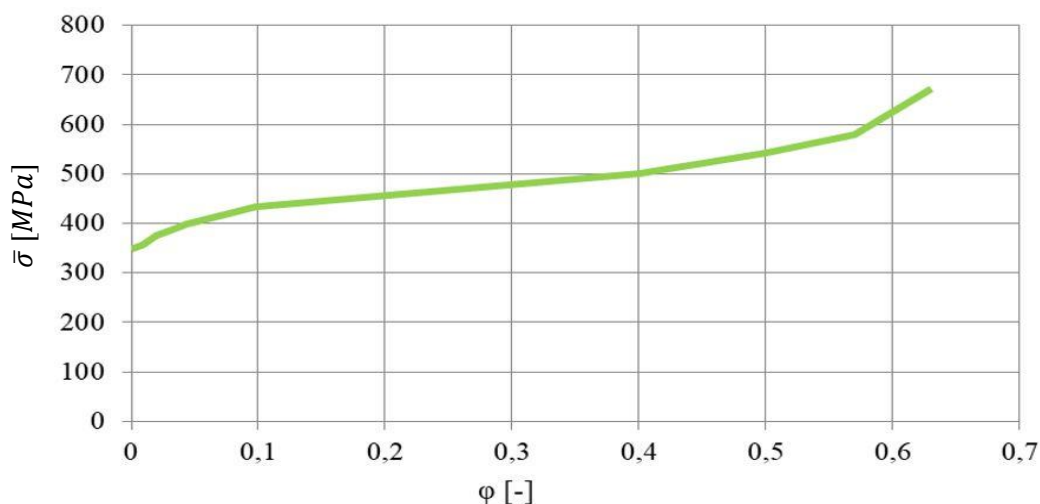
Obr. 58 Závislost smluvního napětí na smluvní deformace

Po zprůměrování získaných křivek smluvních hodnot se vypočetly hodnoty skutečného napětí $\bar{\sigma}$ a logaritmické deformace φ podle vzorců:

$$\bar{\sigma} = \sigma \cdot (1 + \varepsilon) \quad (6.4)$$

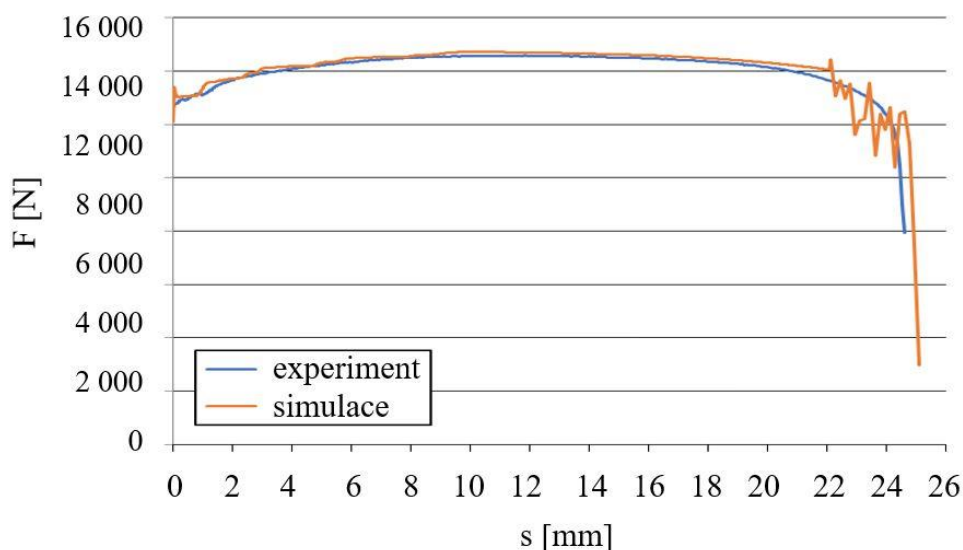
$$\varphi = \ln(1 + \varepsilon) \quad (6.5)$$

Z takto zjištěných hodnot se s úpravou vytvořila plastická oblast materiálového modelu. Elastická je následně definována na základě modulu pružnosti v tahu $E = 210 \text{ GPa}$ a podle Poissonova poměru $\mu = 0,3$. Takto je vytvořen reálný materiálový model zkoušeného materiálu Dx51D + Z 275, který je zobrazen na obrázku 59.



Obr. 59 Výsledný materiálový model získaný zkouškou

Zkouška byla nasimulována v programu ANSYS tak, aby se výsledný materiálový model co nejvíce podobal zjištěnému z fyzických zkoušek. Srovnání tahové zkoušky experimentu a simulace je zobrazeno na obrázku 60, kde „s“ značí prodloužení vzorku



Obr. 60 Srovnání tahové zkoušky experimentu a simulace

Druhým testem na tomto pracovišti je méně využívaná zkouška smyková. Ta byla provedena zejména pro ověření materiálového modelu, s ohledem na kritéria porušení materiálu. Podstata zkoušky je stejná jako u tahové, ale je nutné docílit porušení materiálu tentokrát po délce vzorku. K tomu se využije speciálních přidržovacích plechů připevněných ke vzorku. Tyto plechy jsou z materiálu DC01 tloušťky 3 mm a jsou přišroubovány pomocí šroubů M3. Připravený vzorek je zobrazen na obrázku 61.



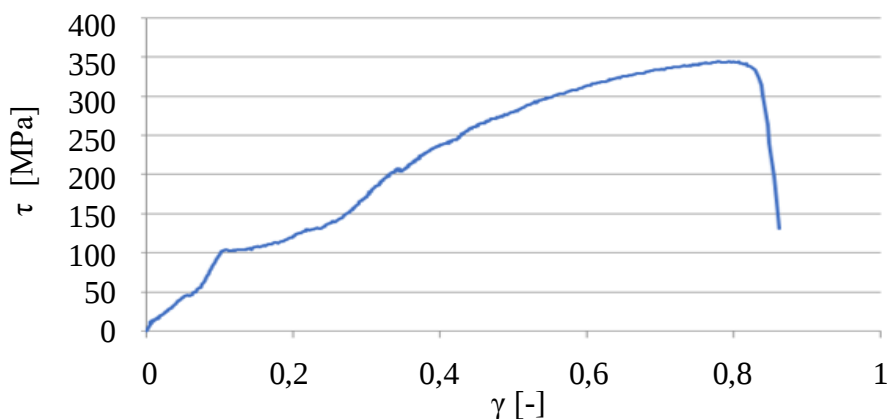
Obr. 61 Vzorek připravený na zkoušku smyku materiálu

Celkově byla zkouška realizována na 3 vzorcích. Na obrázku 62 je znázorněna výsledná linie porušení materiálu.

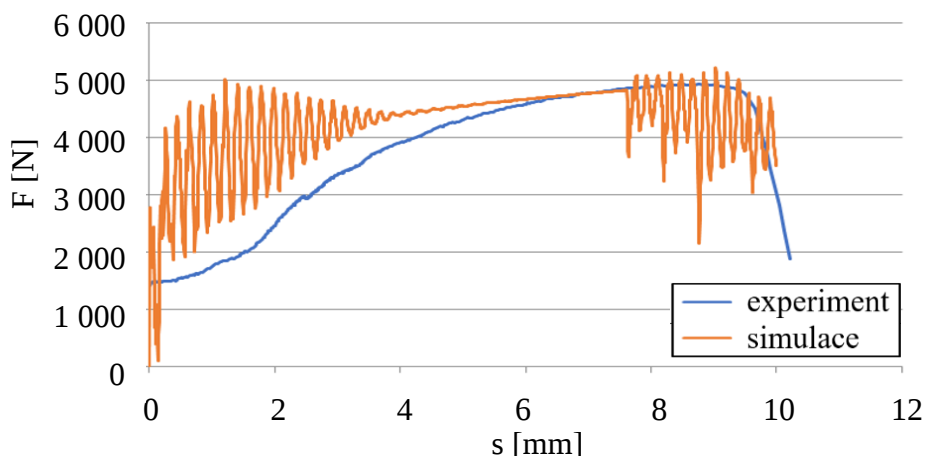


Obr. 62 Výsledná linie porušení materiálu

Na obrázku 63 jsou výsledky smykové zkoušky ve formě závislosti smykového napětí na úhlovém přetvoření a na obrázku 64 je znázorněno porovnání výsledků smykové zkoušky s její simulací. Z tohoto srovnání jsou značné odchylky, které jsou zřejmě způsobené hrubou sítí při simulaci.

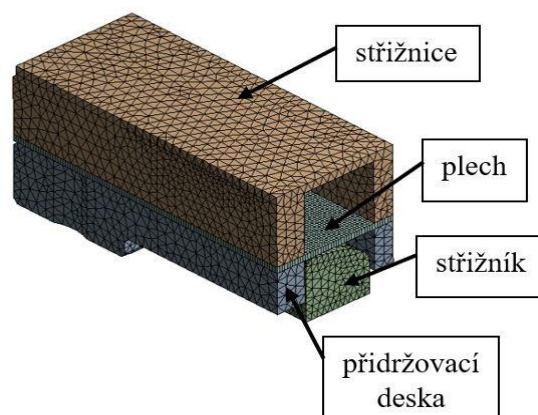


Obr. 63 Závislost smykového napětí na úhlovém přetvoření



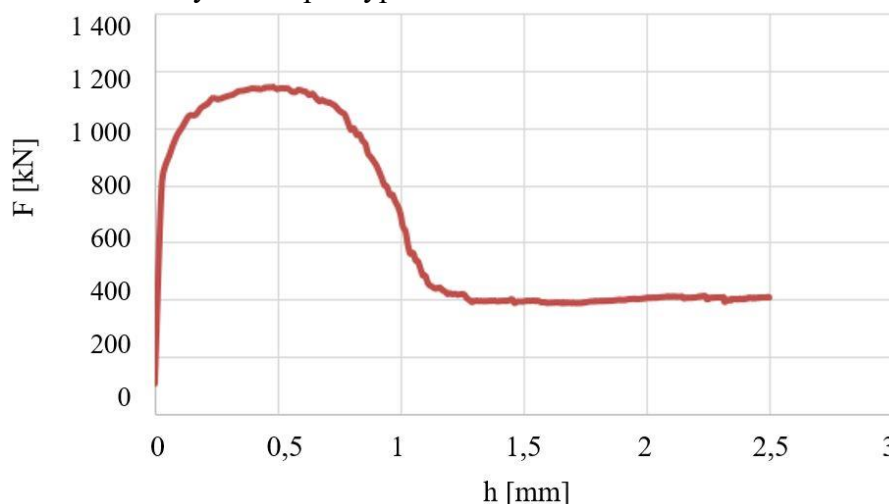
Obr. 64 Srovnání smykové zkoušky a její simulace

Po vytvoření potřebného materiálového modelu byl jako první odsimulován vlastní střížný proces, což bylo provedeno v systému ANSYS Workbench Explicit Dynamics. Pro snížení nároků na výpočet a celkové délky výpočtu je uvažováno pouze s polovinou jednoho střížného segmentu. Dále je nástroj veden jako dokonale tuhý a zdvih byl dle požadavků nastaven na 2,5 mm. Tření se uvažuje jako statické se součinitelem 0,15 a dynamickou složkou o velikosti 0,08. Taktéž některé nosné součásti jsou potlačeny. Z toho důvodu je potřebné výstupy z programu přepočítat. Na obrázku 65 je znázorněn řešený model a jeho síť.



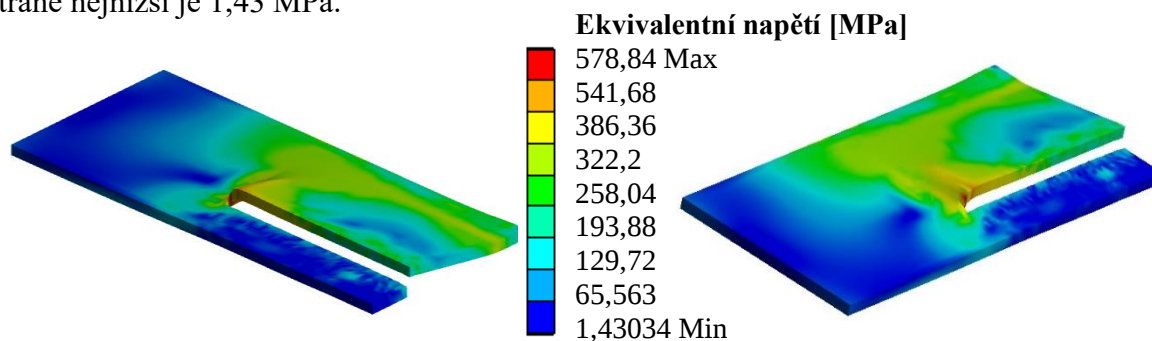
Obr. 65 Model pro simulaci se sítí

Průběh výsledné střížné síly je znázorněn na obrázku 66, kde „h“ znázorňuje hloubku vniknutí střížníku do materiálu. Z výsledného průběhu je patrné, že maximum síly 1 144,83 kN bude v hloubce okolo 0,45 mm. Do této hodnoty síla značně stoupá a po dosažení maxima dochází k jejímu poklesu a ustálení na hodnotu okolo 400 kN. Výsledná určená síla je nižší oproti vypočtené v kapitole 6.2, což je zřejmě následkem použití skutečného materiálového modelu oproti ideálnímu využitím při výpočtu.



Obr. 66 Graf závislosti síly na dráze nástroje

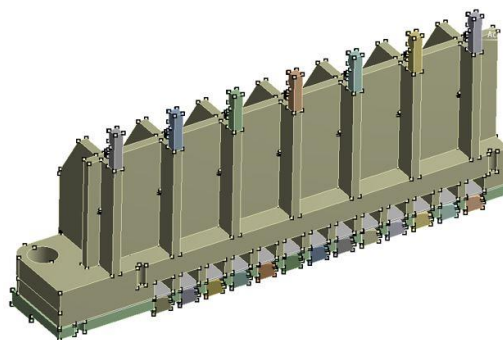
Dalším výstupem z první simulace, mimo velikost střížné síly, je rozložení tzv. ekvivalentního napětí, které vyjadřuje působení víceosého napětí na model. Z obrázku 67 je patrné, že kritické místo je dle úvah v krajních bodech stříhu materiálu, zde se právě vyskytují koncentrátoři napětí. Maximální ekvivalentní napětí zde nabývá hodnoty 578,8 MPa a na druhé straně nejnižší je 1,43 MPa.



Obr. 67 Působení napětí při simulaci procesu stříhu

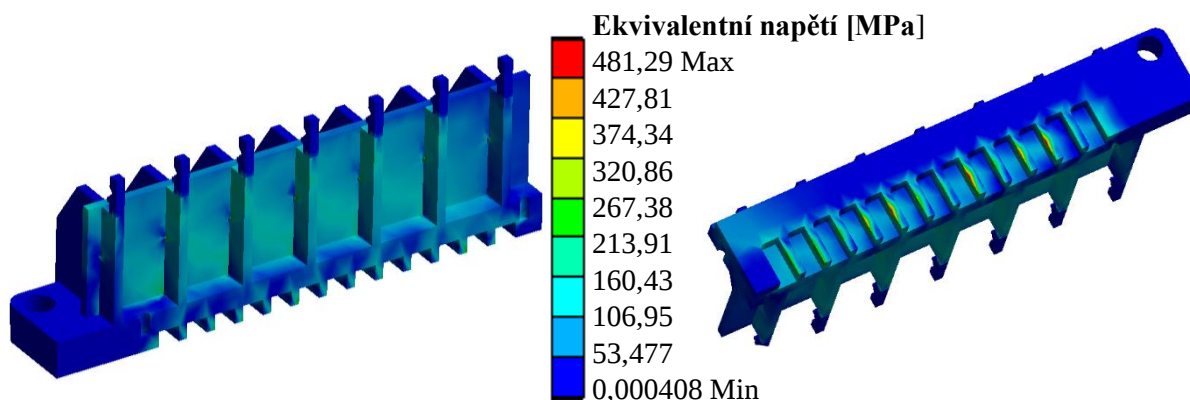
6.5.2 Simulace odlehčení nástroje

Jedním z požadavků ze strany firmy je dosažení maximální hmotnosti 50 kg na každou součást nástroje. Tato hodnota vychází z doporučení dle BOZP jako maximální hmotnost břemene při občasné manipulaci jedním operátorem. Dle provedeného návrhu ale obě části tuto hranici převyšují. Horní nástroj má hmotnost 57 kg a spodní 87,9 kg a z toho důvodu bylo uvažováno o možnosti jejich odlehčení, ale samozřejmě za předpokladu dodržení dostatečné tuhosti zabezpečující správnou funkci nástroje. Proto je vhodné provést simulaci pomocí vybraného programu a snížit tak náklady na výrobu prototypu. Zvoleným programem je ANSYS Workbench Static Structural. Pro simulaci se využilo čtvrtinové symetrie, nástroj byl veden jako ideálně tuhý a všechny materiály pro zjednodušení zvoleny jako S355MC. Použitá geometrie nástroje je znázorněna na obrázku 68.



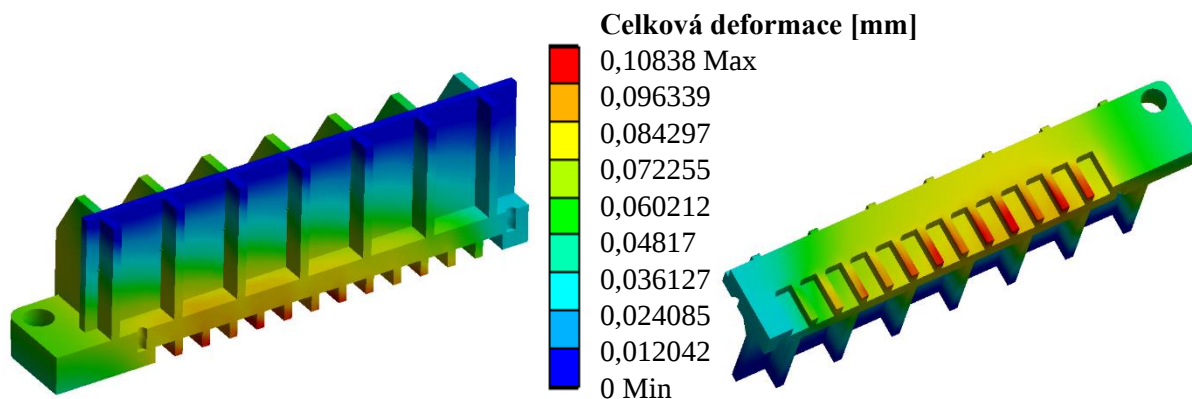
Obr. 68 Geometrie horního nástroje použitá v simulaci

Prvotní simulace je tedy realizována pro určení zatížení současného stavu, a také aby se zjistila kritická a předimenzovaná místa v konstrukci, která lze upravit. Výsledné ekvivalentní napětí v nástroji vyjádřené v MPa je zobrazeno na obrázku 69.



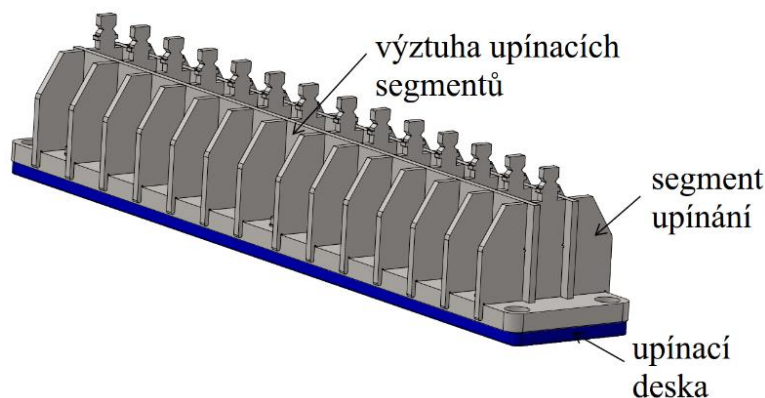
Obr. 69 Ekvivalentní napětí v horním nástroji při pracovním cyklu

Z obrázku je zřejmé, že výsledné napětí dosahuje malých hodnot, a proto je vhodné nástroj upravit. Jediná kritická místa, která jsou z obrázku patrná představují střížné hrany na funkční desce. Ty je možno zanedbat, protože tato část je vyrobena z nástrojového materiálu, který má oproti testovanému materiálu S335MC lepší mechanické vlastnosti. Na obrázku 70 je pro názornost znázorněna celková deformace nástroje při simulaci procesu.



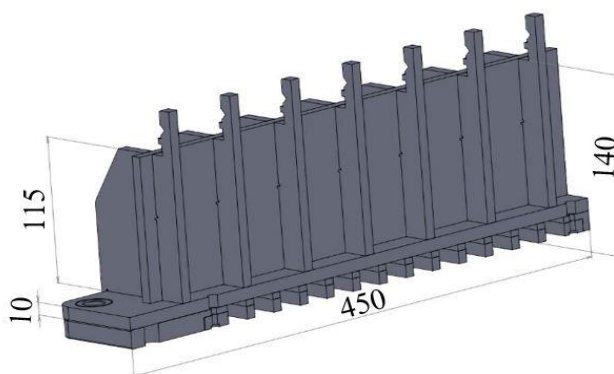
Obr. 70 Celková deformace při simulaci nástroje

Největší podíl na celkové hmotnosti sestavy má upínací část, která má samotná hmotnost 47 kg. Možností jejího odlehčení je několik a dílce, kterých se odlehčení může týkat, jsou zobrazeny na obrázku 71.



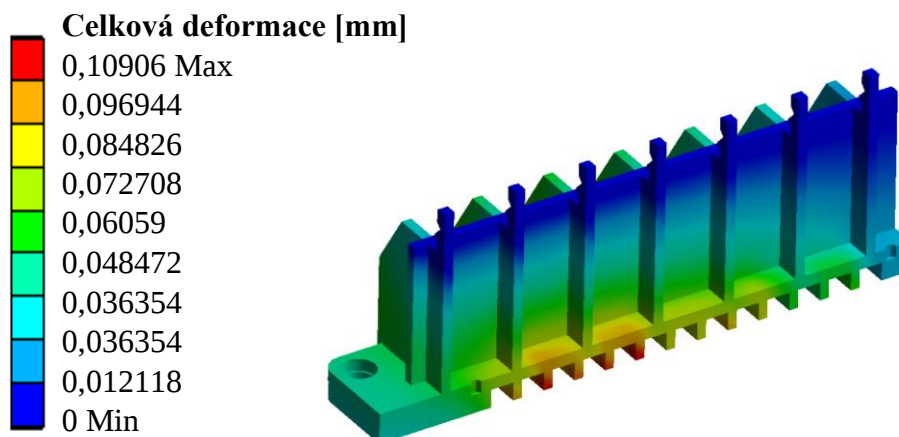
Obr. 71 Horní nástroj s vyznačením prvků vhodných pro odlehčení

První z navrhovaných odlehčení je snížení tloušťky upínací desky z 20 mm na 10 mm. Deska o tloušťce 20 mm váží 21,93 kg a po snížení tloušťky se váha sníží na 10,98 kg. Materiál zůstane stejný, ale musí se upravit i další součásti upínání, aby se zachovala nutná výška nástroje 140 mm. Segment upínání i jejich výztuhy je nutno zvětšit o 10 mm. Výsledný upravený model vložený do simulace je zobrazen na obrázku 72.

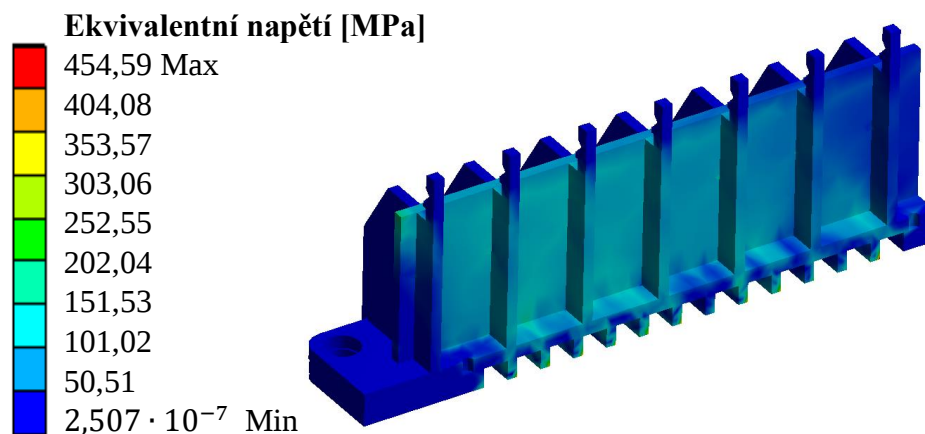


Obr. 72 Model prvního návrhu odlehčení vložený do simulace

Z obrázku 72 je zřejmé využití již zmíněné čtvrtinové symetrie. Nástroj je uvažován jako ideálně tuhý, tedy se u něj nepředpokládá samostatná deformace, a je zatížen ze spodní strany tlakem odpovídajícím síle potřebné na prostřížení vzorku vypočtené v simulaci stříhu. Na následujícím obrázku 73 je znázorněna celková deformace při zatěžování prvního odlehčeného modelu a na obrázku 73 je maximální ekvivalentní napětí. Maximálních hodnot je, stejně jako u simulace současného nástroje, dosaženo na funkčních hranách střižné desky, což lze z důvodu jiného materiálu zanedbat.

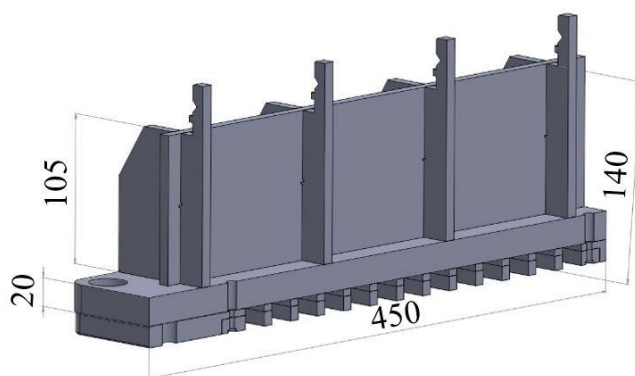


Obr. 73 Celková deformace při simulaci prvního návrhu odlehčeného nástroje



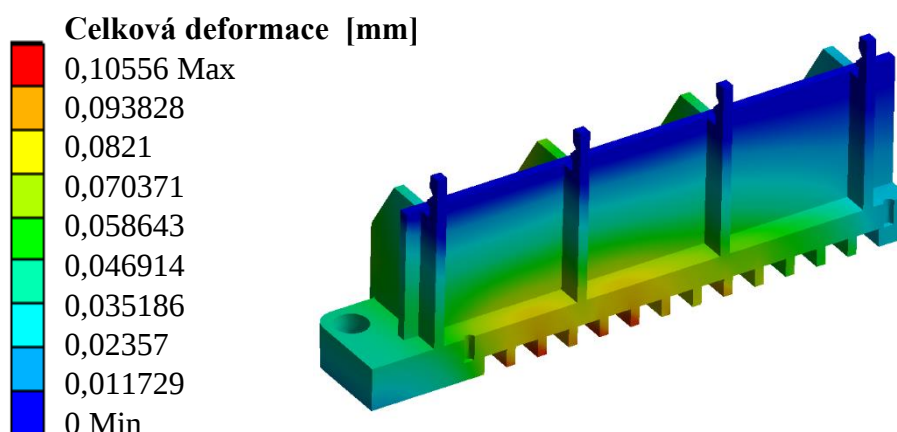
Obr. 74 Ekvivalentní napětí při simulaci prvního návrhu odlehčení nástroje

Jako další možnost odlehčení nástroje se nabízí změna počtu segmentů upínání, které jsou vyznačeny na obrázku 71. Celkově je jich na nástroji 14 kusů a každý váží 1,03 kg. Pro návrh se snížil jejich počet na 8 kusů. Předpokládá se, že tento zákrok nemá na celkovou tuhost sestavy velký vliv, protože nástroj je v kontaktu s beranem stroje nejen přes tyto dílce, ale taktéž přes jejich výztuhy. Pro tuto úpravu není nutné nějak zvláště měnit další komponenty nástroje. Na obrázku 75 je navržený model druhého návrhu odlehčení.

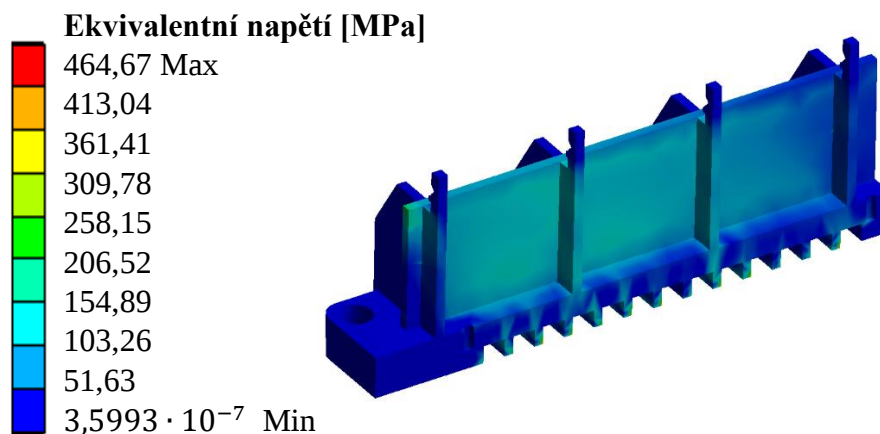


Obr. 75 Model druhého návrhu odlehčení vložený do simulace

Na dalším obrázku 76 je již zobrazena výsledná deformace při zatěžování tohoto upraveného návrhu a na obrázku 77 je ekvivalentní napětí při simulaci zatěžování.



Obr. 76 Celková deformace při simulaci druhého návrhu odlehčeného nástroje



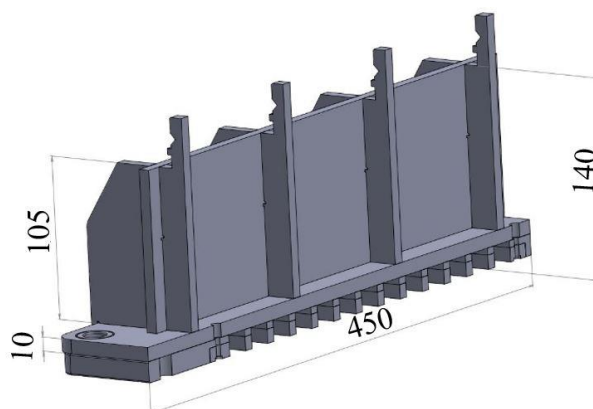
Obr. 77 Ekvivalentní napětí při simulaci druhého návrhu odlehčení nástroje

Z výsledků je zřejmé, že celková deformace je menší než u prvního návrhu, a tudíž z toho lze usoudit, že na celkovou tuhost sestavy má počet upínacích segmentů menší vliv než snížení tloušťky upínací desky. Taktéž výsledné ekvivalentní napětí je oproti prvnímu návrhu menší.

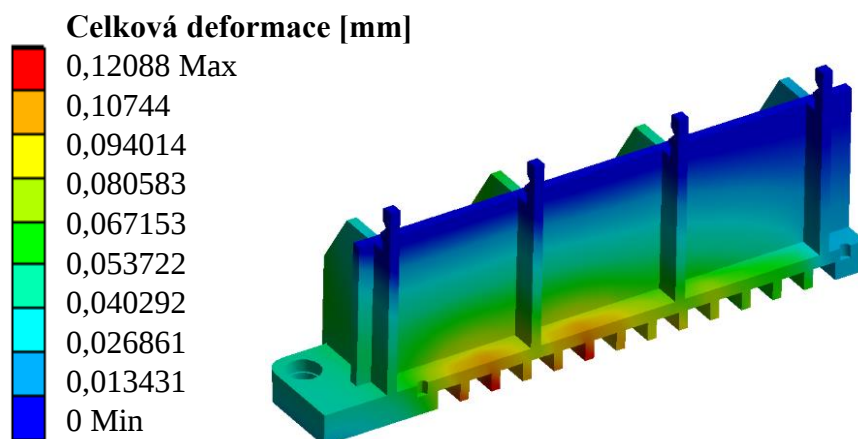
Z výše provedených simulací lze usoudit, že snížení počtu upínacích segmentů je více vhodné, protože je výsledná deformace téměř totožná jako u simulace neodlehčeného nástroje. Díky této úpravě má horní nástroj hmotnost 51,47 kg, což stále nesplňuje požadovanou hranici.

Proto je simulován také třetí návrh, a to spojení předchozích dvou, tedy snížení tloušťky upínací desky a snížení počtu upínacích segmentů na 8 kusů. U tohoto návrhu se stejně jako u prvního řešení musí zvětšit výška segmentů upínání a jejich výztuh. Touto úpravou se dosáhne celková hmotnost 41,89 kg, ale stále za předpokladu nutné kontroly tuhosti a stability celé sestavy při zatěžování.

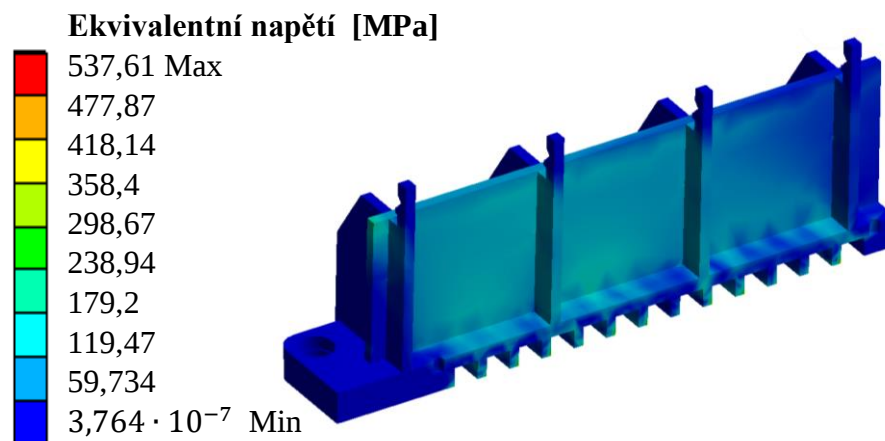
Na obrázku 78 je znázorněn třetí model odlehčení s kótami a na obrázcích 79 a 80 jsou výstupy ze simulace v podobě výsledné deformace a ekvivalentního napětí.



Obr. 78 Model třetího návrhu odlehčení vložený do simulace



Obr. 79 Celková deformace při simulaci třetího návrhu odlehčeného nástroje



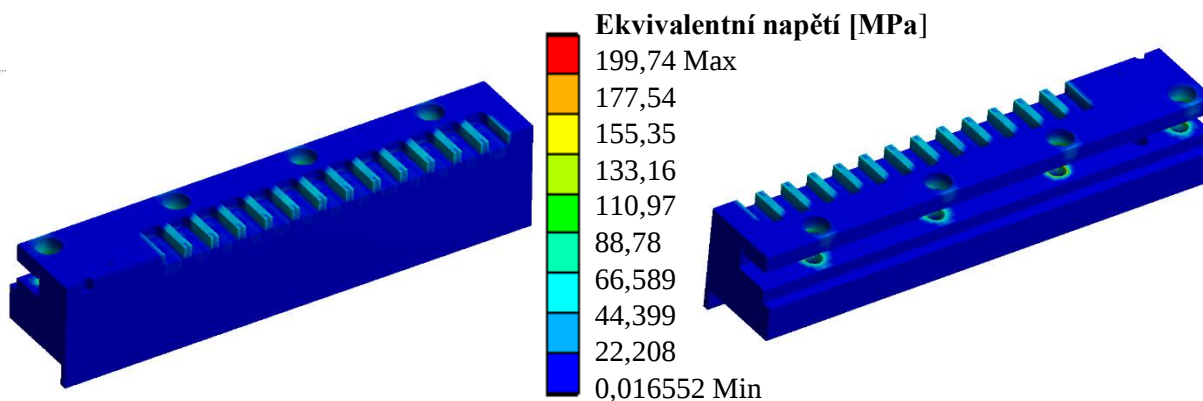
Obr. 80 Ekvivalentní napětí při simulaci třetího návrhu odlehčení nástroje

Z obrázku 79 je zřejmé, že při zanedbání maxima v střižné desce, je největší deformace v přidržovací desce, a to 0,1 mm. Tento návrh má oproti ostatním značně větší deformaci, což ale nemusí činit problém, protože je stále v přijatelné velikosti.

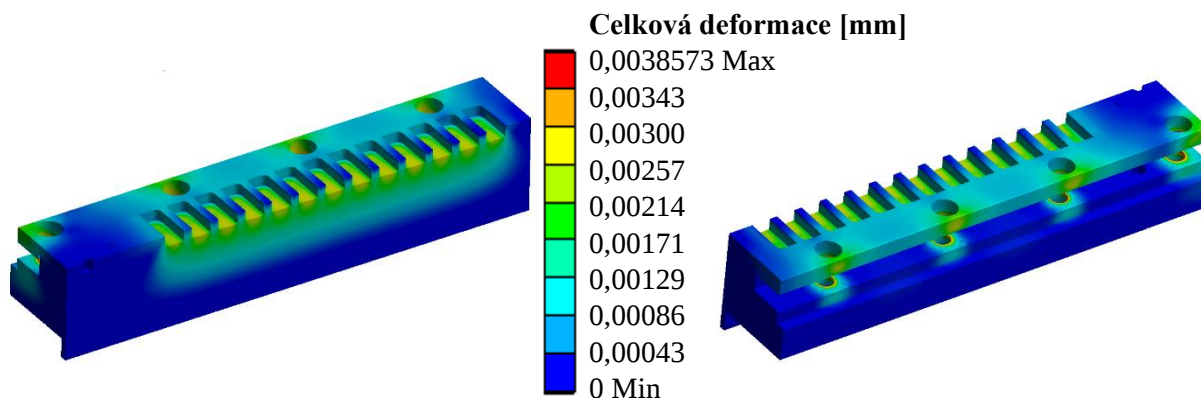
Maximálních hodnot ekvivalentního napětí nabývá upravený model o cca 50 MPa vyšší než nástroj za současného stavu. Tento rozdíl, je za předpokladu jiného materiálu funkční desky zanedbatelný. Napětí, které v nástroji převažuje je totiž o velikosti 120 MPa a u momentálního návrhu nástroje je 107 MPa, což je rozdíl technologicky přijatelný, a proto lze považovat tento návrh simulace, stejně jako předchozí dva za vhodnější oproti základní konstrukci.

Odlehčení horního nástroje je tedy možno realizovat všemi navrhovanými variantami s tím, že z hlediska snížení váhy je nejvhodnější poslední možnost, kdy se hmotnost sníží na 41,9 kg. Za předpokladu akceptování malého přesahu váhového limitu je vhodné využít spíše druhého návrhu odlehčení, kde je dosažená deformace téměř totožná s neodlehčeným nástrojem, ale jeho hmotnost je 51,47 kg.

Odlehčení spodního nástroje je o poznání složitější, jeho celková hmotnost činí totiž 87,9 kg. Problém při úpravě nástroje samozřejmě nastává při dosažení nutné tuhosti pro správnou funkci. Pro určení kritických nebo předimenzovaných míst na spodním nástroji je provedena, stejně jako u horního nástroje, simulace současného stavu. Pro ni je využité stejné zjednodušení jako u horního nástroje, tedy čtvrtinová symetrie a sjednocení materiálů na S355MC. Pružiny jsou zjednodušeny a střižníky zanedbány. Na obrázku 81 je zobrazeno ekvivalentní napětí při simulaci zatížení a na obrázku 82 je znázorněna celková deformace.



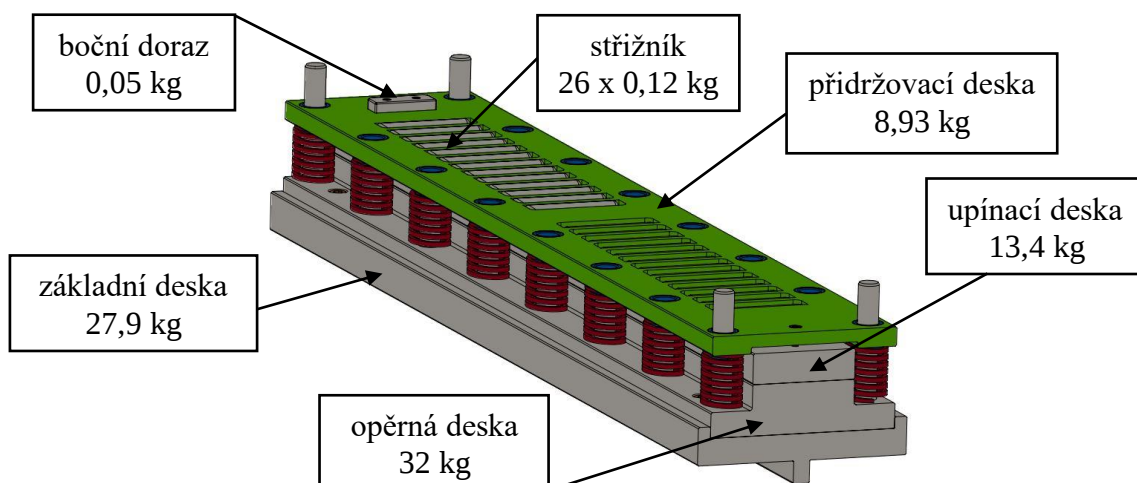
Obr. 81 Ekvivalentní napětí při simulaci spodního nástroje při zatížení



Obr. 82 Celková deformace spodního nástroje při zatížení

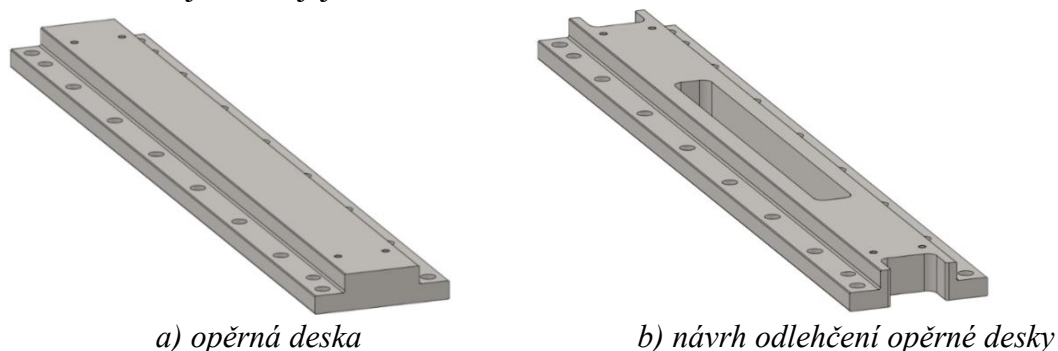
Z předešlých obrázků je patrné, že kritická místa jsou v místě, kde jsou pružiny v kontaktu s opěrnou deskou. Zde je maximální ekvivalentní napětí o velikosti 199,74 MPa. Tato problémová místa jsou zřejmě způsobena specifickým definováním uložení a vedení pružin. Jak výsledné napětí, tak deformace, je podle simulace relativně malá a z toho důvodu je vhodné přistoupit k odlehčení nástroje.

Jednotlivé hmotnosti hlavních dílců jsou zobrazeny na obrázku 83. Ostatní součásti jsou normalizované a úprava jejich hmotnosti není příliš vhodná.



Obr. 83 Hmotnosti jednotlivých dílců spodního nástroje

Z obrázku 83 je zřejmé, že dílce s největší hmotností ve spodním nástroji jsou upínací, základní a opěrná deska. Do upínací desky jsou vytvořeny přesné otvory, do nichž jsou přišroubovány střižníky, a proto není možné tuto desku příliš upravovat. Z toho důvodu jediné dvě desky, které je možno odlehčit jsou opěrná a základní. Na obrázku 84a je zobrazena opěrná deska a na obrázku 84b je návrh jejího odlehčení.

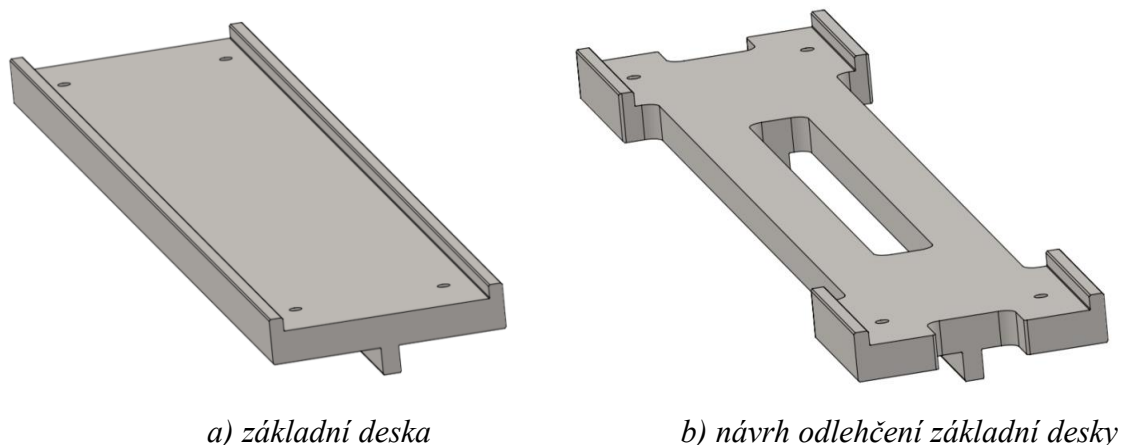


a) opěrná deska

b) návrh odlehčení opěrné desky

Obr. 84 Model opěrné desky a návrh jejího odlehčení

Pro návrh odlehčení základní desky je využito stejné úpravy, jako je provedena u opěrné desky a dalšího úběru materiálu z boků nástroje. Na obrázku 85a je zobrazena základní deska a 85b návrh jejího odlehčení.

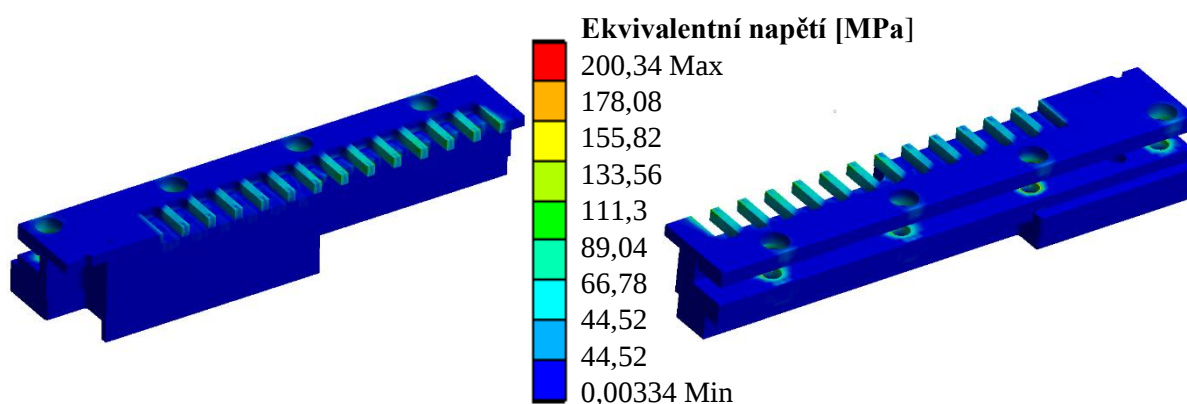


Obr. 85 Model základní desky a návrh jejího odlehčení

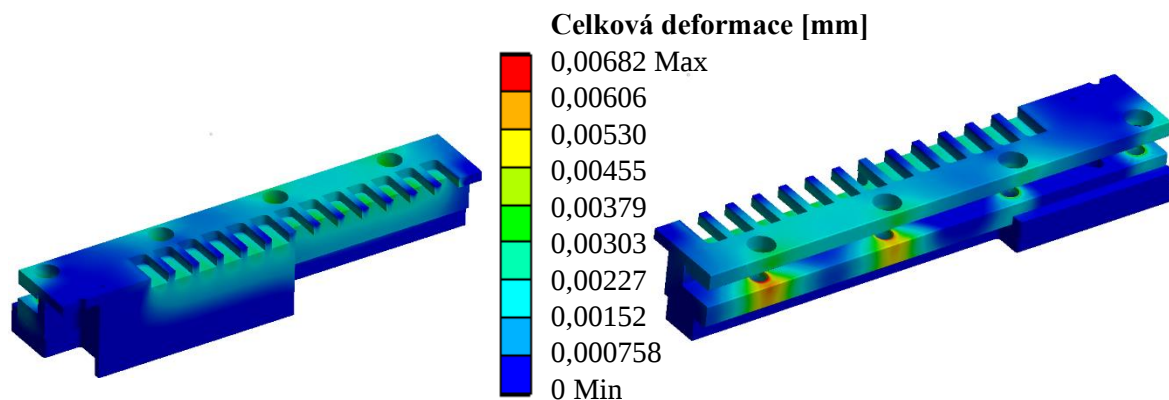
Úpravou opěrné desky se hmotnost dílce sníží na 25,4 kg, tedy o necelých 7 kg. Na celkovou tuhost by tyto úběry materiálu neměly mít vliv. Upínací deska se totiž i tak bude o tuto součást opírat v dostatečné ploše. Celkovou výšku této desky není možno snížit, protože je nutno dodržet požadovanou výšku nástroje 100 mm. Odlehčením základní desky se její hmotnost sníží z 27,9 kg na 17,7 kg. Tato úprava by taktéž neměla být problémová, protože krajní části slouží pouze pro prvotní ustavení opěrné desky a spodní výstupky slouží pro hydraulické upínání do stroje.

Tyto úpravy vedou k celkovému snížení hmotnosti na 71,12 kg. V tomto kroku je opět vhodné znovu využít simulace pro ověření, zda nástroj s touto úpravou vydrží požadovaná zatížení. Ale i za předpokladu, že simulace potvrdí možnost odlehčení, není možné dosáhnout maximální hmotnosti 50 kg. Pro zachování funkčnosti nástroje tedy není možno tuto hranici dosáhnout, a proto je dohodnuto s vedením firmy, že spodní nástroj může váhově převyšovat požadovanou mez.

Na obrázcích 86 a 87 jsou výsledky ověřovací simulace ve formě ekvivalentního napětí a celkové deformace. Jako u všech simulací se využilo čtvrtinové symetrie a jednotnosti materiálů na S355MC. Pružiny byly simulovány, jako zjednodušené, pomocí virtuálních modelů.



Obr. 86 Ekvivalentní napětí při simulaci odlehčeného spodního nástroje při zatížení



Obr. 87 Celková deformace odlehčeného spodního nástroje při zatížení

Rozdíly ve výsledcích napětí i celkové deformace jsou velmi malé, proto lze usoudit, že navržené úpravy jsou a vhodné. I přesto však není možno dosáhnout požadované váhy a z toho důvodu jsou navrženy varianty, jak je možno spodní nástroj do stroje usazovat.

První z nich je pomocí jeřábového ramene, které je ale možné využít pouze pro vkládání do stroje Ursviken, do ostatních nikoliv. V krajním případě lze využít manipulace dvou operátorů, to ale z hlediska bezpečnosti práce není příliš vhodné. Jako třetí navrhovanou variantou je možnost využít vysokozdvizného vozíku a pomocí řetězů a magnetů, které se na nástroj umístí, se nástroj zvedne a usadí do stroje. Tato možnost je vhodná při práci s nástrojem na jiných ohraňovacích lisech, což ale není předpokládáno.

6.6 Alternativní využití principu návrhu nástroje

Jelikož se ve firmě využívá výroba prolisů velmi často, tak se naskytá možnost využít princip návrhu nástroje pro vytvoření speciálního nástroje pro prostřížení a prolisování pouze jednoho segmentu. Principiálně je nástroj stejný pouze zjednodušený. Je uvažováno, že nástroj bude obsahovat dvě pružiny a bude sloužit pro prostřížení a prolisování jednoho prolisu. To, zda lze podle předpokladů využít princip nástroje, je nutné ověřit výpočtem střížné síly a síly přidržovače.

Střížná síla bude tedy vycházet ze vzorce (2.5)

$$F_{S1} = n \cdot L_{P1} \cdot t \cdot \tau_{PS} = n \cdot L_{P1} \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m$$

kde: L_{P1} – celková délka stříhu, pro 1 prolis - délky 75 mm [mm]

$$L_P = 1 \cdot 75 = 75 \text{ mm}$$

$$F_{S1} = 1,15 \cdot 75 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot 500 = 51\,750 \text{ N}$$

Výpočet síly přidržovače bude určen dle vztahu (3.2)

kde: S_{p1} – plocha působení přidržovače [mm²]

$$S_{p1} = S_{d1} - S_{os1}$$

kde: S_{d1} – plocha kontaktu nástroje a dílce [mm²],

S_{os1} – plocha otvoru v nástroji pro 1 prolis [mm²].

$$S_{p1} = 75 \cdot 148,5 - 78,3 \cdot 18,65$$

$$S_{p1} = 9\,677,2 \text{ mm}^2$$

Výsledná síla přidržovače bude tedy:

$$F_{p1} = 9\,677,2 \cdot 1,7 = 16\,451,2 \text{ N}$$

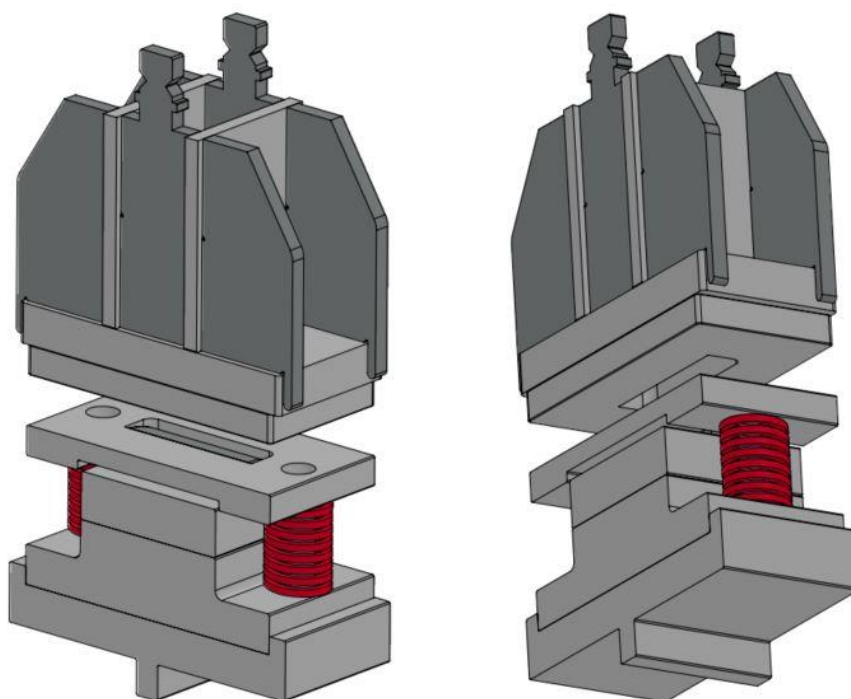
Je nutno podle síly přidržovače zkontrolovat, zda budou navrhované dvě pružiny dostatečné pro správnou funkci nástroje. Jsou uvažovány stejné pružiny, jako u současného návrhu nástroje o tuhosti $k = 1\,300 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$.

$$F_{p1} < x \cdot F_x \quad (6.6)$$

$$16\,451,2 < 2 \cdot 8580$$

$$16\,451,2 < 17\,160$$

Dle provedeného výpočtu je zřejmé, že dvě pružiny jsou pro výrobu jednoho prolisu dostatečné. Návrh alternativního využití nástroje je zobrazen na obrázku 88.



Obr. 88 Alternativní využití principu návrhu nástroje

Na obrázku je pouze zjednodušený návrh nástroje. Pokud se realizuje jeho výroba, tak je nutné jej patřičně technologicky upravit. Dál je důležité vyřešit, jak se realizuje vedení nástrojů vůči sobě, protože čepy se v tomto případě nemohou použít. Jednou z možností je, že nástroje nebudou vůči sobě nijak zvláště vedeny a správnou vůli zajistí pouze beran stroje, což je ale nutno odzkoušet na prototypu.

7 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Hlavní ukazatelé pro technicko – ekonomické zhodnocení jsou vztaženy pouze k vytvoření kontury výrobku a výrobě prolisů, což je ve výpočtech označováno souhrnně jako předpříprava. Ohyb není nutno vůbec uvažovat, protože ten je u všech uvažovaných variant výroby stále stejný. Podle požadavku firmy na výstup z diplomové práce je vytvořeno porovnání časové úspory pro současný stav, nástroj s dvojitým prolisem viz. kapitola 1., návrh nástroje s prostřížením a vysekávací stroj a pro sérii 6 000 ks výrobků ročně. Je také proveden výpočet procentuální finanční úspory pro stejné možnosti výroby.

Pro názornost je popsán výpočet časové úspory pro 500 ks sérii a pro ostatní velikosti série je uveden v tabulce a vykreslen do grafu. Pro práci na laseru celkový čas vychází z celkového řezného času, dle programu pro nestování dílců a vedlejších časů výroby. Prolisování vychází z normy, která je ve firmě používána pro zjištění časů prolisování.

❖ Momentální stav – celkový čas na předpřípravu t_{p1} :

$$t_{p1} = t_{\text{laser } 1} + t_{\text{prolis}} = 244,3 + 435 = 679,3 \text{ min}$$

❖ Nástroj s dvojitým prolisem – celkový čas na předpřípravu t_{p2} :

$$t_{p2} = t_{\text{laser } 1} + \frac{t_{\text{prolis}}}{2} = 244,3 + 217,5 = 461,8 \text{ min}$$

Je uvažováno, že nástroj prolisuje výrobek na jeden chod stroje nikoliv na dva, jako je tomu při momentální výrobě, na starém nástroji. Z toho důvodu je uvažováno, že tento čas bude poloviční.

❖ Návrh sdruženého nástroje – celkový čas na předpřípravu t_{p3} :

$$t_{p3} = t_{\text{laser } 2} + \frac{t_{\text{prolis}}}{2} = 85,4 + 217,5 = 302,9 \text{ min}$$

Zde je uvažováno s jiným časem na laser, který je ponížen o čas na předřezání prolisů a taktéž s polovičním časem na prolis oproti stávajícímu.

❖ Vysekávací stroj – celkový čas na předpřípravu t_{p4} :

$$t_{p4} = t_{\text{kontura}} + t_{\text{žábry}} = 125 + 216,67 = 341,67 \text{ min}$$

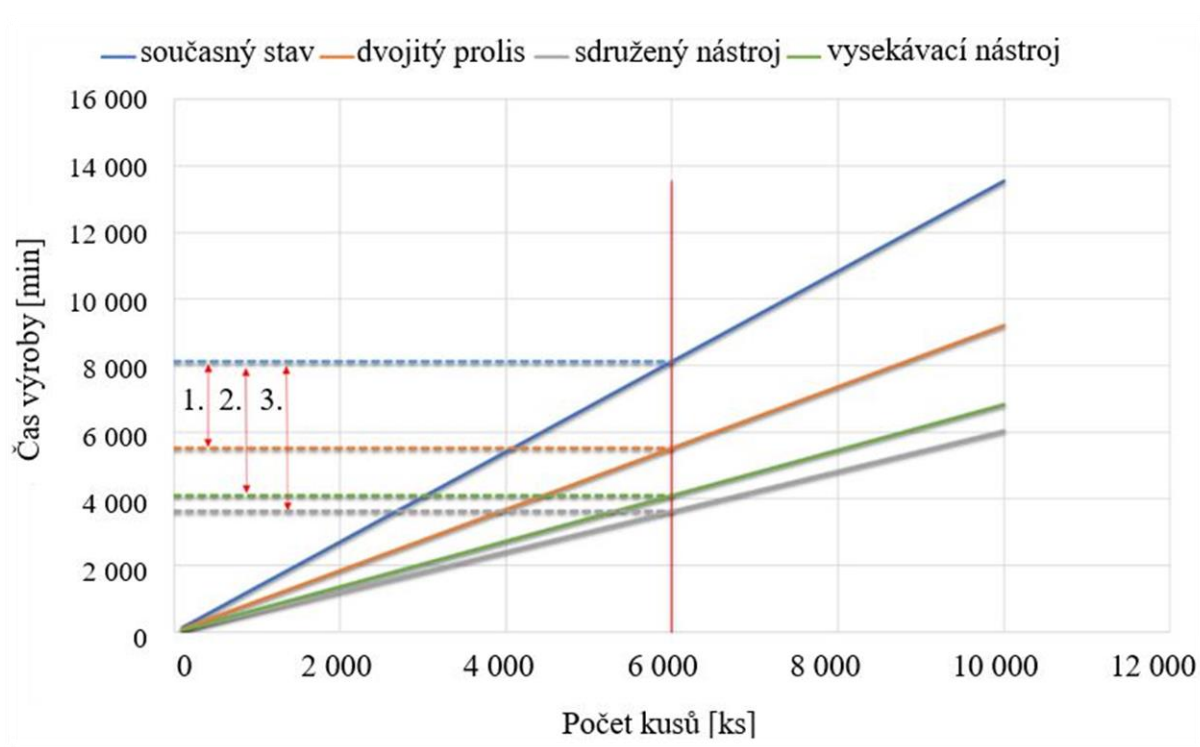
Pro tento výpočet je využito právě nacenění výroby prolisů u čtyř kooperačních firem a výsledky byly zprůměrovány do této podoby, celkový čas obsahuje také nutné vedlejší časy.

kde: t_{kontura} – čas potřebný na vytvoření kontury [min],
 $t_{\text{žábry}}$ – čas potřebný na prolisování 26 prolisů [min].

V následující tabulce 13 jsou rozepsány vypočtené hodnoty časů a procentuální oproti stávající výrobě. Výsledky jsou taktéž vyneseny do grafu, na obrázku 89, s vyznačením úspory pro jednotlivé varianty oproti momentálnímu stavu.

Tab. 13 Časy výroby prolisů pro jednotlivé způsoby [min]

Série	100 ks	500 ks	1 000 ks	6 000 ks	10 000 ks	Úspora
Současný stav	140	679	1 359	8 128	13 551	-
Dvojitý prolis	96	462	924	5 518	9 201	32,1 %
Sdružený nástroj	61,8	303	606	3 627	6 045	55,4 %
Vysekávací stroj	68,3	342	683	4 100	6 833	50,4 %



1. Časová úspora při využití nástroje s prolisem oproti současnému stavu (2 610 min)
2. Časová úspora při využití vysekávacího stroje oproti současnému stavu (4 028 min)
3. Časová úspora při využití sdruženého nástroje oproti současnému stavu (4 501 min)

Obr. 89 Časové srovnání uvažovaných variant

Z provedeného výpočtu je patrné, že z hlediska čisté časové úspory při sérii 6 000 ks je ekonomicky nejvhodnější využít navržený sdružený nástroj, u kterého je procentuální časová úspora 55,4 %. Jako druhé nejvýhodnější je využití vysekávacího stroje s úsporou 50,4 % času výroby.

Tento výpočet je vhodný pro rychlý pohled na časovou úsporu, ale pro zjištění celkové výhodnosti není příliš vhodný, protože nijak neuvažuje rozdílnou hodinovou sazbu za využití technologie a ceny speciálních nástrojů. Z toho důvodu je proveden druhý výpočet celkové finanční úspory. Ten zahrnuje nejen náklady na proces, ale i zmíněné ceny nástrojů. Náklady na proces jsou uvažovány přes hodinovou sazbu stroje, které v sobě zahrnuje také mzdu operátora a odpisy stroje.

Jak je již zmíněno, konečná cena navrhovaného nástroje nelze skrze externí výrobu jistě určit, a proto se výpočet provádí pro dvě uvažované ceny nástroje a to 50 000 a 100 000 Kč. Cena nástroje s dvojitým prolisem je odhadována na 10 000 Kč a cena nástroje do vysekávacího stroje Trumpf je okolo 30 000 Kč. Hodinové sazby jsou v rámci jednotlivých firem dosti rozdílné a z toho důvodu budou zvoleny ceny zprůměrované, a to za laser 1 800 Kč/h, za vysekávací stroj 1 300 Kč/h a za ohraňovací lis 900 Kč/h.

Výpočet je popsán pro sérii 6 000 ks/rok a ostatní hodnoty jsou sepsány do tabulky a zobrazeny v grafu. Je uvažováno, že do doby 3 let, tedy 18 000 ks, nedojde ke změně součástí, která vede k nárůstu nákladů vlivem změny nástroje a také, že nástroje budou mít dostatečnou životnost tuto sérii zvládnout.

T_L = hodinová sazba za laser = 1 800 Kč,
 T_v = hodinová sazba za vysekávací stroj = 1 300 Kč,
 T_o = hodinová sazba za ohraňovací lis = 900 Kč.

❖ Momentální stav – cena za sérii T_{p1}

$$T_{p1} = \frac{t_{\text{laser } 1}}{60} \cdot T_L + \frac{t_{\text{prolis}}}{60} \cdot T_o = \frac{2908}{60} \cdot 1\,800 + \frac{5220}{60} \cdot 900 = 165\,540 \text{ Kč}$$

❖ Nástroj s dvojitým prolisem – cena za sérii T_{p2}

$$T_{p2} = \frac{t_{\text{laser } 1}}{60} \cdot T_L + \frac{\frac{t_{\text{prolis}}}{2}}{60} \cdot T_o = \frac{2908}{60} \cdot 1\,800 + \frac{\frac{5220}{2}}{60} \cdot 900 = 126\,390 \text{ Kč}$$

❖ Návrh sdruženého nástroje – cena za sérii T_{p3}

$$T_{p3} = \frac{t_{\text{laser } 2}}{60} \cdot T_L + \frac{\frac{t_{\text{prolis}}}{2}}{60} \cdot T_o = \frac{1017}{60} \cdot 1800 + \frac{\frac{5220}{2}}{60} \cdot 900 = 69\,660 \text{ Kč}$$

❖ Vysekávací stroj – cena za sérii T_{p4}

$$T_{p4} = \frac{t_{p4}}{60} \cdot T_v = \frac{4\,100}{60} \cdot 1\,300 = 88\,833 \text{ Kč}$$

K těmto vypočteným cenám je nutno přičíst ceny používaných nástrojů. Pouze u momentálního stavu nebude cena nástroje přičtena, protože nástroj funguje ve firmě již relativně dlouho a jeho cena je již v rozpuštěna v nákladech.

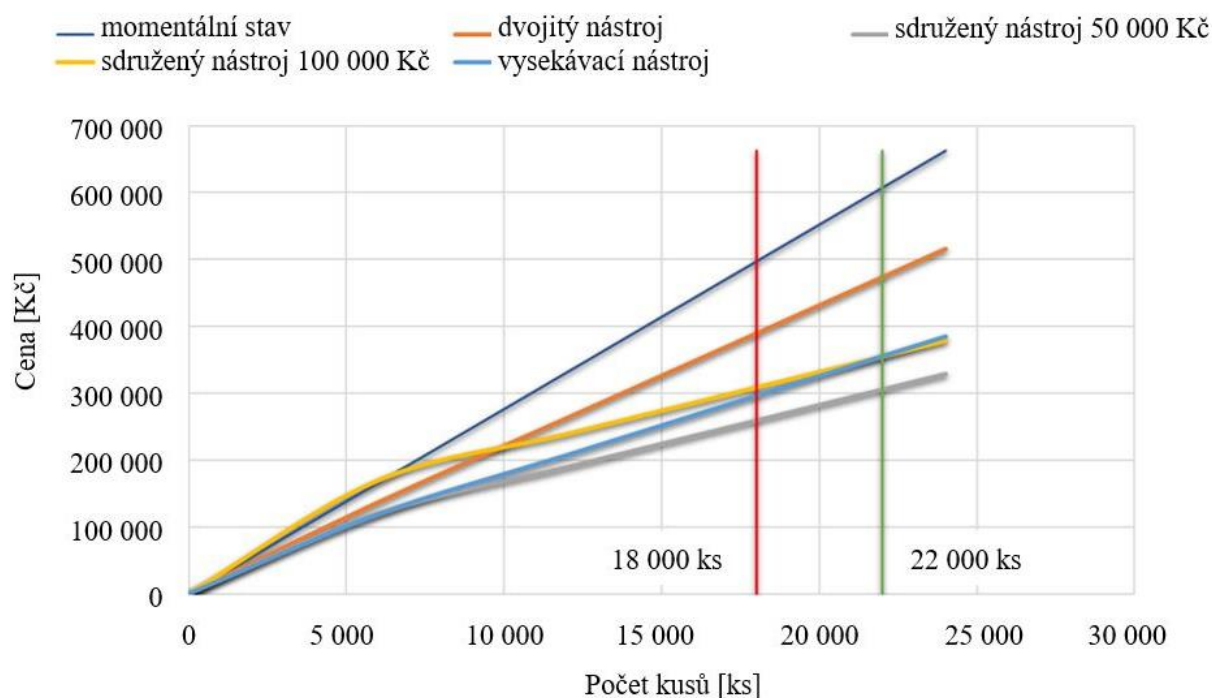
T_{n1} = cena za nástroj s dvojitým prolisem = 10 000 Kč,
 T_{n2} = první uvažovaná cena sdruženého nástroje = 50 000 Kč,
 T_{n3} = druhá uvažovaná cena sdruženého nástroje = 100 000 Kč,
 T_{n4} = cena za nástroj na tvorbu záber do vysekávacího stroje = 30 000 Kč.

V následující tabulce jsou zobrazeny ceny výroby pro jednotlivé série pro porovnání momentálního stavu s nástrojem pro dvojitý prolis, vysekávacím strojem a navrženým sdruženým nástrojem pro dvě možné ceny tohoto nástroje. V tabulce jsou také vyznačeny úspory zmíněných variant.

Tab. 14 Ceny výroby pro jednotlivé varianty [Kč]

Série	cena nástroje	6 000	12 000	18 000	24 000	Úspora
Momentální stav	-	165 540	331 080	496 620	662 160	-
Dvojitý prolis	10 000	136 390	262 780	389 170	515 560	21,6 %
Sdružený nástroj	50 000	119 660	189 320	258 980	328 640	47,85 %
Sdružený nástroj	100 000	169 660	239 320	308 980	378 640	37,78 %
Vysekávací stroj	30 000	118 833	207 666	296 499	385 332	40,30 %

Z tabulky je zřejmé, že cena navrhovaného nástroje má na celkovou úsporu značný vliv. Pokud by bylo uvažováno s cenou nástroje 100 000 Kč vyšlo by v rámci série 18 000 ks, lépe využít vysekávací stroj, úspora by se projevila až v dalším roce, tedy do počtu 24 000 ks. Pokud by cena nástroje byla nižší již o necelých 20 000 Kč, bylo by ekonomičtější použít navrhovaný nástroj již při počtu 18 000 ks. Výsledky cenového srovnání jsou zobrazeny na obrázku 90.



Obr. 90 Cenové srovnání uvažovaných variant

Z grafu je patrné, že pro velmi malou sérii je nejvhodnější využití nástroje s dvojitým prolisem nebo vysekávacího stroje. Čím větší je předpokládaná série, tím je vhodnější využít navržený speciální nástroj. Tato hranice je v grafu znázorněná počtem 22 000 ks. Z některých křivek je zřejmý průhyb u nižšího počtu kusů, což je způsobeno rozpuštěním ceny za nástroj do ceny výroby.

ZÁVĚRY

Cílem diplomové práce bylo navrhnout nástroj pro prostřížení a prolisování odvětrávacích otvorů do dílce segmentu dna sila. Řešený dílec je z materiálu Dx51D + Z 275. Tato práce byla sepsána ve spolupráci s firmou Technologické centrum Brno, kde se má nástroj využívat. Momentálně se prolisování ve firmě realizuje na velmi jednoduchém nástroji na ohraňovacím lisu s nutností předřezání zářezu na laseru pro každý prolis.

Pro vytvoření prolisů bez nutnosti jejich předřezání je nutná součinnost technologií stříhání a tažení, na které byla rovněž zaměřena řešeršní část. Byly sestaveny potřebné výpočty pro navržení funkčních komponent a následně byl proveden návrh horního i spodního nástroje, podle požadavků firmy. Části se záměrně řešily zvlášť, jelikož i ukládání a zavádění do stroje bude realizováno odděleně. Protože bylo uvažováno, že ze strany zákazníka dojde v budoucnu ke změně revize dílce, například ve formě počtu prolisů, byly všechny funkční části realizovány ve formě vložek.

Na základě určení střížné síly a jejího ověření podle simulace, byl pro realizaci prolisů zvolen stroj Ursviken Optiflex 320. Vypočtená střížná síla je 1 345 kN a síla určená simulací reálných vzorků je o 200 kN menší, což může být zapříčiněno využitím reálného materiálového modelu v simulaci. Systém upínání nástrojů vychází ze systému Willa, který je ve firmě využit u všech speciálních nástrojů. Celková hmotnost obou částí navrženého nástroje přesahovala firmou požadované maximum, a proto se přistoupilo k návrhu odlehčení a jejich následné simulaci.

Pro její správnost bylo nutno použít skutečné materiálové parametry, který byly určeny na základě tahové a smykové zkoušky. Pro horní nástroj bylo testováno tři modelů odlehčení. U nejlepší varianty bylo dosaženo snížení hmotnosti ze 57 kg na 41,9 kg. Pro spodní nástroj byly také sestaveny návrhy optimalizace, ale i přes úpravu nebylo možné dosáhnout požadované hmotnosti. Proto bylo s vedením firmy dohodnuto, že spodní nástroj může, pro zaručení správné funkce, přesahovat doporučenou hodnotu. Z toho důvodu byly předepsány jiné způsoby manipulace se spodním nástrojem. Navrhovaného principu je ve firmě možné do budoucna také využít i pro univerzálnější aplikaci výroby prolisů. Proto byl v závěru práce proveden návrh alternativního využití nástroje.

V technicko – ekonomickém zhodnocení návrhu bylo provedeno srovnání navrženého nástroje s prací na vysekávacím stroji, se současným stavem výroby a s druhým návrhem nástroje, který pouze modifikuje současný nástroj. Hodnocení bylo provedeno na základě výrobních časů a cen na sérii 6 000 ks ročně. Podle výrobních časů je uvažováno, že při využití navrženého nástroje dojde k ušetření 4 500 minut na sérii, tedy 75 h. Pro hodnocení podle cen bylo uvažováno, že navrhovaný nástroj bude mít cenu 50 000 Kč nebo 100 000 Kč. Pro tento výpočet bylo počítáno s celkovým počtem 24 000 ks, tedy s rozpětím čtyř let výroby, protože je nutno v ceně rozmělnit vícenáklady na jednotlivé nástroje. Při nižší z cen nástroje, je celková vypočtená úspora 47,9 % a při vyšší ceně je 37,8 %.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [61]

- 1 ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1992, 524 s. ISBN 80-03-00651-1
- 2 DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9
- 3 FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. : ISBN 80-214-2374-9
- 4 BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0
- 5 Sheet metal stamping: all the services offered by Minifaber. In: Minifaber SPA [online]. Itálie [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <https://www.minifaber.com/sheet-metal-forming/sheet-metal-stamping-all-the-services-offered-by-minifaber>
- 6 1932 Ford. In: Classic cars for sale in USA [online]. 2019 [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <http://classicvehicleslist.com/ford/6603-1932-ford-rare-original-all-henry-steel-no-rust-flathead-25-louver-great-patina.html>
- 7 Louver Tools. In: PTI Punch Tools [online]. 2010 [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: http://punchtools.com/web_pages/industrial/louverTooling.html
- 8 Making a Louver Punch. In: Discover Live Steam. [online]. 2003 [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: <https://www.discoverlivesteam.com/magazineold/25/25.html>
- 9 Technologické centrum. Technologické centrum a.s. [online]. Brno: © 2017 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: <https://www.tech-centrum.cz/>
- 10 Agroing Brno. Agroing Brno s.r.o. [online]. Brno: Comerto, © 2002 [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: <http://www.agroing.cz/>
- 11 ALFUN. ALFUN a.s. [online]. Bruntál: © 2009 [cit. 2019-11-08]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/plechy-valcovane-za-studena-zarove-pozinkovane>
- 12 STANĚK, Vít. Materiálový list Dx51D+Z [e-mailová komunikace]. 1. listopadu 2019 13:22; [cit.2019-11-02]. Technologické centrum Brno
- 13 VODIČKA, Marek. Tvářecí nástroj na tvorbu žeber [e-mailová komunikace]. 22. listopadu 2019 14:10 [cit.2019-12-02]. Trumpf
- 14 Formetal - Vysekávací stroje. Formetal [online]. Brno: © 2018 [cit. 2019-12-11]. Dostupné z: https://www.formetal.cz/category/vysekavaci-centra?gclid=Cj0KCQjwu6fzBRC6ARIsAJUwa2T8VKVqPabkcQCOgXlGjUto_4OGUYCTS_2k4anWTJBh-jJGgyhRVycaAt4pEALw_wcB
- 15 MultiShear. In: TRUMPF [online]. Praha: © 2020 [cit. 2020-01-15]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/servis/servis-strojni-systemy-a-lasery/nastroje/derovaci-nastroje/derovaci-nastroje/multishear/
- 16 TRUMPF - Kombinované stroje. TRUMPF [online]. Praha: © 2020 [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/stroje-systemy/kombinovane-stroje/
- 17 Lisovací nástroje. In: TOOL TECH CZ, s.r.o. [online]. 2018: © 2018 [cit. 2019-11-20]. Dostupné z: <http://www.tooltechcz.com/cz/kategorie/lisovaci-nastroje.aspx>

- 18 Louver Punch Tooling for Mittler Bros. Bench Press. In: Trick - Tools [online]. Pella: © 2020 [cit. 2020-01-15]. Dostupné z: https://www.trick-tools.com/Mittler_Bros_Louver_Punch_Tooling_2200_LA_153
- 19 MACHEK, Václav. *Zpracování tenkých plechů*. Praha: SNTL, 1983, 266 s.
- 20 ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. *Příručka pro lisování za studena*. Praha: SNTL, 1959, 537 s.
- 21 BAREŠ, Karel. *Lisování*: Určeno [také] stud. na stř. a vys. odb. školách. Praha: SNTL, 1971, 542 s.
- 22 DOBROVOLNÝ, Bohumil. *Lisování kovů: přehled zpracování kovů na lisech jako pomůcka pro praxi i školení*. 2. doplněné vydání, svazek 22. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1961, 93 s.
- 23 FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2. Brno: CERM, 2004, 167 s. ISBN 80-214-2764-7
- 24 Technologie plošného tváření - stříhání. Technická univerzita Liberec Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie [online]. Liberec: [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
- 25 Akademie tváření: Technologičnost konstrukce v návrhu výstřižků. MM Průmyslové spektrum [online]. Praha: © 2011 [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-v-navrhu-vystrizku.html>
- 26 MARCINIAK, Zdzislaw. *Teorie tváření plechů*. Praha: SNTL, 1964, 259 s.
- 27 DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *Technologie tváření: Studijní opory pro kombinované studium I. stupeň, 2. ročník* [online]. Brno: 2006 [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/index.htm
- 28 Akademie tváření: Hluboké tažení. MM Průmyslové spektrum [online]. Praha: © 2011 [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-hluboke-tazeni.html>
- 29 Technologie plošného tváření - tažení. Technická univerzita Liberec Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie [online]. Liberec: [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm
- 30 HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. Cambridge: Cambridge University Press, 2011, 331 s. ISBN 978-1-107-00452-8
- 31 Punching/ Stamping [online]. Shandong, China: 2012 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <http://www.whollytech.com/product/11.html>
- 32 TSCHÄTSCH, Heinz. *Metal forming practise: processes, machines, tools*. Berlin: Springer, 2006, 405 s. ISBN 3-540-33216-2
- 33 Embossing Basics. In: Embossing Technologies [online]. Pennsylvania, USA: © 2017, 2015 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <http://www.embossingtechnologies.com/technology.htm>
- 34 ŘÍHÁČEK, Jan. Přednášky z předmětu HPT – Počítačová podpora technologie. Brno, 2018. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.

- 35 LAWRENCE, Kent L. *ANSYS workbench tutorial: structural & thermal analysis using the ANSYS workbench release 14 environment*. Mission: SDC Publications, 2012. ISBN 978-1-58503-754-4.
- 36 Finite Element Method – What Is It? In: SimScale [online]. Munich: © 2020 [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <https://www.simscale.com/blog/2016/10/what-is-finite-element-method/>
- 37 SLOTA, Ján. *Numerická simulácia lisovania plechov*. Košice: Strojnícka fakulta TU v Košiciach, 2016, 194 s. ISBN 978-80-553-3007-5
- 38 ZOUHAR, Jan. Vývoj výkonných frézovacích nástrojů s využitím CAD/CAM a analýzy mechanismu tvorby třísky. Brno, 2009. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. MIROSLAV PÍŠKA, CSc.
- 39 RODRIGUEZ, Jose, Juan CANTE a Xavier OLIVER. On the Numerical Modelling of Machining Processes via the Particle Finite Element Method (PFEM) [online]. In: . 2015, 185 s. [cit. 2020-01-25]. Dostupné z: https://www.scipedia.com/wd/index.php?title=Rodr%C3%ADguez_et_al_2015a&action=history
- 40 Bearing Stress Simulation. In: ANSYS Student Community [online]. ©2018 [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <https://studentcommunity.ansys.com/thread/bearing-stress-simulation/>
- 41 LOGAN, Daryl L. *A first course in the finite element method*. United States: Cengage Learning, 2007, 808 s. ISBN 978-0-534-55298-6
- 42 Materiálové normy. In: Feron Online [online]. Praha: [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/materialove-normy/>
- 43 HRUBÝ, Jiří, Stanislav RUSZ a Radek ČADA. *Strojírenské tváření*. Ostrava: VŠB, 1993, 152 s. ISBN 80-7078-201-3
- 44 DRASTÍK, František. *Výpočty z oboru kování a lisování*. Praha: SNTL, 1972, 189 s.
- 45 MORÁVEK, Otakar a Vladislav BABOROVSKÝ. *Nástrojové materiály a tepelné zpracování nástrojů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1972, 505 s.
- 46 BLAŠČÍK, František. *Konstrukcia tvárniaceho náradia*. Náradie pre plošné tvárnenie. Košice: VST, 1968, 190 s.
- 47 NOVOTNÝ, Karel. *Nástroje a přípravky: část 1 - tváření*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1985, 179 s.
- 48 Ursviken OptiFlex [online]. In: . Mekanvägen: © 2020 [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://ursviken.com/products/press-brakes/optiflex/>
- 49 RICHTER, Václav. Konzultace pro volbu pružin [online]. 11. února 2020 11:11 [cit.2020-02-18]. Osobní komunikace
- 50 Katalog pružin. Alcomex Springs, [2017]. Dostupné také z: <https://www.alcomex.cz/katalog-pruzin/>
- 51 LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3., dopl. vyd. Praha: Scientia, 1999, 985 s. ISBN 80-7183-164-6.
- 52 SHIGLEY, Joseph Edward, Charles Russell MISCHKE a Richard BUDYNAS, HARTL, Martin a Miloš VLK, ed. *Konstruování strojních součástí*. V Brně: VUTUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

- 53 STANĚK, Vít. Materiálový list S355MC [e-mailová komunikace]. 3. listopadu 2019 13:22; [cit.2019-11-19]. Technologické centrum Brno
- 54 Wila Trumpf Style Press Brake Tooling Catalog. Minnesota: Mate Precision Tooling [2017]. Dostupné také z: <https://www.mate.com/cs/literature/wila-trumpf-style-press-brake-tooling-catalog/>
- 55 Bystronic Tools XPT type. In: Bystronic [online]. © 2017 [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.bystronic.com/en/products/pressbrakes/press-brake-tools.php>
- 56 Materiálový list 19 191. In: Knife.cz [online]. 2011, s. 2 [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <http://www.knife.cz/Default.aspx?tabid=53&g=posts&t=10124>
- 57 Materiálový list 12 061. In: Knife.cz [online]. 2011, s. 2 [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.knife.cz/Default.aspx?tabid=53&g=posts&t=10179>
- 58 ČSN 11 140 – automatová ocel. In: CZ FERRO - STEEL [online]. Napajedla. [cit. 2020-02-16]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/tyce-11140.pdf>
- 59 YIN, Qing, Benjamin ZILLMANN, Sebastian SUTTNER, et al. An experimental and numerical investigation of different shear test configurations for sheet metal characterization. International Journal of Solids and Structures [online]. Elsevier, 2014, 51(5), 1066-1074 [cit. 2020-04-07]. DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2013.12.006. ISSN 0020-7683
- 60 NUNES, L.C.S. Modified slotted shear test for a thin sheet of solid polymer under large deformations. Polymer Testing [online]. Elsevier, 2015, 45(C), 20-30 [cit. 2020-04-07]. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2015.05.003. ISSN 0142-9418
- 61 Citace PRO [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Střížná práce	[J]
A _{pr}	Práce při prolisování	[J]
A _t	Práce při tažení	[J]
b	Rozměr prolisu	[mm]
c	Koeficient zahrnující vliv otupení nástroje	[-]
C	Součinitel	[-]
C ₁	Konstanta	[-]
C ₂	Konstanta	[-]
d	Průměr tažníku	[mm]
F	Globální matice zatížení	[-]
F _c	Celková tažná síla	[N]
F _m	Prolisovací síla napříč celým procesem	[N]
F _p	Přidržovací síla	[N]
F _{pr}	Prolisovací síla	[N]
F _s	Střížná síla	[N]
F _t	Tažná síla	[N]
F _x	Maximální síla, kterou pružina přenese	[N]
h _{el}	Hloubka elastického vniknutí nástroje	[mm]
h _p	Hloubka prolisu	[mm]
h _{pl}	Hloubka plastického vniknutí nástroje	[mm]
h _s	Hloubka vniku střížné hrany v okamžiku oddělení	[mm]
h _t	Hloubka tažení	[mm]
k	Tuhost pružiny	[N/mm]
K	Globální matice tuhosti	[-]
k ₁	Součinitel průběhu tažné síly	[-]
k _r	Koeficient odolnosti proti deformaci	[-]
k _s	Střížný odpor	[MPa]
l	Rozměr prolisu	[mm]
L	Délka křivky stříhu	[mm]
L ₀	Délka pružiny ve volném stavu	[mm]
L _n	Délka pružiny v zatíženém stavu	[mm]
L _r	Délka rovné části výtažku	[mm]
m _n	Součinitel tažení	[-]
n	Opravný koeficient zahrnující vliv vnějších podmínek	[-]
R	Poloměr zaoblení výtažku	[mm]
R _m	Mez pevnosti materiálu v tahu	[MPa]
r _n	Poloměr zaoblení výtažku	[mm]
Ř _{čDP}	Celkový řezný čas pro práci s nástrojem s dvojitým prolisem	[min]
Ř _{čSN}	Celkový řezný čas pro práci se sdruženým nástrojem	[min]
Ř _{dDP}	Celková řezná délka pro nástroj s dvojitým prolisem	[mm]
Ř _{dSN}	Celková řezná délka pro sdružený nástroj	[mm]
s	Prodloužení vzorku	[mm]
S _d	Plocha kontaktu nástroje a dílce	[mm ²]
S _{os}	Plocha otvoru v nástroji pro 1 prolis	[mm ²]
S _p	Plocha přidržovače	[mm ²]
S _{pr}	Plocha prolisu	[mm ²]
t	Tloušťka materiálu	[mm]

t_0	Výchozí tloušťka plechu	[mm]
$t_{kontura}$	Čas potřebný na vytvoření kontury výrobku na vysekávacím stroji	[min]
T_1	Hodinová sazba za laser	[Kč]
t_{laser}	Čas řezání laseru	[min]
T_{n1}	Cena za nástroj s dvojitým prolisem	[Kč]
T_{n2}	Cena sdruženého nástroje – 1 návrh	[Kč]
T_{n3}	Cena sdruženého nástroje – 2 návrh	[Kč]
T_{n4}	Cena za nástroj na tvorbu žáber do vysekávacího stroje	[Kč]
T_o	Hodinová sazba za ohraňovací lis	[Kč]
t_p	Tloušťka povlaku	[mm]
t_{p1}	Čas na předpřípravu – momentální stav	[min]
T_{p1}	Cena za sérii – momentální stav	[Kč]
t_{p2}	Čas na předpřípravu – nástroj s dvojitým prolisem	[min]
T_{p2}	Cena za sérii – nástroj s dvojitým prolisem	[Kč]
t_{p3}	Čas na předpřípravu – návrh sdruženého nástroje	[min]
T_{p3}	Cena za sérii – sdruženého nástroje	[Kč]
T_{p4}	Cena za sérii – vysekávací stroj	[Kč]
t_{prolis}	Čas na prolisování prolisu	[min]
t_r	Relativní tloušťka plechu	[mm]
T_v	Hodinová sazba za vysekávací stroj	[Kč]
$t_{žábry}$	Čas potřebný na prolisování 26 prolisů	[min]
U	Globální matice deformačních parametrů	[-]
v	Střížná vůle	[mm]
x	Nastavení os dorazu stroje	[mm]
x_p	Počet prolisů	[-]
y	Stlačení pružiny	[mm]
z	Střížná mezera	[mm]
z_m	Tažná mezera	[mm]
z_{mr}	Tažná mezera v rozích	[mm]
$\bar{\sigma}$	Skutečné napětí	[MPa]
ε	Smluvní deformace	[-]
λ	Součinitel plnosti	[-]
σ	Smluvní napětí	[MPa]
τ_{PS}	Mez pevnosti materiálu ve stříhu	[MPa]
φ	Skutečná deformace	[-]
φ_n	Úhel stříhu/sklonu nožů	[°]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady využití odvětrávacích prolisů	9
Obr. 2 Model řešené součásti	10
Obr. 3 Zobrazení uložení součástí do dna sila	10
Obr. 4 Detail odvětrávací sestavy	10
Obr. 5 Trumpf TruLaser 2030	11
Obr. 6 Bystronic Xpert 150	11
Obr. 7 Horní nástroj	11
Obr. 8 Spodní nástroj	11
Obr. 9 Rozvinutý tvar dílce s pořadím ohybů	12
Obr. 10 Základní rozměry výrobku a výrobní tolerance	12
Obr. 11 Nástroj pro obsekávání kontury výrobku	13
Obr. 12 Nástroj pro tváření žeber	13
Obr. 13 Kombinovaný stroj Trumpf TruMatic 6000	13
Obr. 14 Příklad části postupového nástroje	14
Obr. 15 Část nástroje pro jednotlivý prolis	14
Obr. 16 Návrh horního nástroje	15
Obr. 17 Návrh spodního nástroje	15
Obr. 18 Příklad sdruženého nástroje na prostřížení a prolis	16
Obr. 19 Fáze stříhání	18
Obr. 20 Porovnání stříhání při malé, velké a optimální střížné vůli	19
Obr. 21 Charakteristický průběh střížné síly	20
Obr. 22 Graf ke stanovení součinitele plnosti	21
Obr. 23 Příklady uložení výstřižků na pásu plechu	22
Obr. 24 Kritické rozměry výlisku	22
Obr. 25 Proces tažení	23
Obr. 26 Základní způsoby tažení plechů	23
Obr. 27 Napěťová schémata pro tažení rotačních i nerotačních výtažků	23
Obr. 28 Schéma napětí a deformací při tažení s přidržovačem	24
Obr. 29 Schéma tažení s vyznačením tažné mezery	26
Obr. 30 Princip výroby prolisů	28
Obr. 31 Rozměry nástroje během prolisu	28
Obr. 32 Znázornění práce při prolisování	29
Obr. 33 Příkladu obrazového výstupu ze simulace – program ANSYS	30
Obr. 34 Lineární prvky podle dimenze	30
Obr. 35 Kvadratické prvky podle dimenze	31
Obr. 36 Znázornění principu oddělení prvků	32
Obr. 37 Znázornění rozdělení elementu	32
Obr. 38 Znázornění porušení kontaktu mezi prvky	33
Obr. 39 Uživatelské rozhraní programu ANSYS	33
Obr. 40 Model součásti	34
Obr. 41 Schéma složení nástroje s popisem	34
Obr. 42 Obrazovka stroje s nastavením programu	35
Obr. 43 Detail mezer mezi nástroji	36
Obr. 44 Ursviken OptiFlex 320	37
Obr. 45 Schéma zvolené tlačné pružiny	38
Obr. 46 Princip upínání Willa	39
Obr. 47 Schémata způsobů upínání	39
Obr. 48 Výřez výkresu vložky horní desky	40

Obr. 49 Model horního nástroje s detailem upínání do beranu stroje	41
Obr. 50 Rozložený pohled na horní nástroj.....	41
Obr. 51 Pohled na složený spodní nástroj	42
Obr. 52 Schéma spodního upínacího prvku	42
Obr. 53 Základní rozměry střížníku	42
Obr. 54 Výřez výkresu přidržovací desky.....	43
Obr. 55 Rozložený pohled na spodní nástroj	44
Obr. 56 Stroj ZD 40	45
Obr. 57 Detaily vzorku po provedení tahové zkoušky	45
Obr. 58 Závislost smluvního napětí na smluvní deformace	45
Obr. 59 Výsledný materiálový model získaný zkouškou.....	46
Obr. 60 Srovnání tahové zkoušky experimentu a simulace	46
Obr. 61 Vzorek připravený na zkoušku smyku materiálu.....	47
Obr. 62 Výsledná linie porušení materiálu.....	47
Obr. 63 Závislost smykového napětí na úhlovém přetvoření.....	47
Obr. 64 Srovnání smykové zkoušky a její simulace	47
Obr. 65 Model pro simulaci se sítí	48
Obr. 66 Graf závislosti síly na dráze nástroje.....	48
Obr. 67 Působení napětí při simulaci procesu stříhu	48
Obr. 68 Geometrie horního nástroje použitá v simulaci	49
Obr. 69 Ekvivalentní napětí v horním nástroji při pracovním cyklu	49
Obr. 70 Celková deformace při simulaci nástroje	49
Obr. 71 Horní nástroj s vyznačením prvků vhodných pro odlehčení	50
Obr. 72 Model prvního návrhu odlehčení vložený do simulace	50
Obr. 73 Celková deformace při simulaci prvního návrhu odlehčeného nástroje	50
Obr. 74 Ekvivalentní napětí při simulaci prvního návrhu odlehčení nástroje.....	51
Obr. 75 Model druhého návrhu odlehčení vložený do simulace	51
Obr. 76 Celková deformace při simulaci druhého návrhu odlehčeného nástroje.....	51
Obr. 77 Ekvivalentní napětí při simulaci druhého návrhu odlehčení nástroje	52
Obr. 78 Model třetího návrhu odlehčení vložený do simulace	52
Obr. 79 Celková deformace při simulaci třetího návrhu odlehčeného nástroje	52
Obr. 80 Ekvivalentní napětí při simulaci třetího návrhu odlehčení nástroje.....	53
Obr. 81 Ekvivalentní napětí při simulaci spodního nástroje při zatížení	53
Obr. 82 Celková deformace spodního nástroje při zatížení	54
Obr. 83 Hmotnosti jednotlivých dílců spodního nástroje	54
Obr. 84 Model opěrné desky a návrh jejího odlehčení	54
Obr. 85 Model základní desky a návrh jejího odlehčení	55
Obr. 86 Ekvivalentní napětí při simulaci odlehčeného spodního nástroje při zatížení	55
Obr. 87 Celková deformace odlehčeného spodního nástroje při zatížení	56
Obr. 88 Alternativní využití principu návrhu nástroje	57
Obr. 89 Časové srovnání uvažovaných variant	59
Obr. 90 Cenové srovnání uvažovaných variant	61

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Mechanické vlastnosti Dx51D + Z 275	9
Tab. 2 Chemické složení Dx51D + Z 275	9
Tab. 3 Porovnání časů výroby zvolených technologií	15
Tab. 4 Vybrané hodnoty součinitele C	23
Tab. 5 Hodnoty konstant C_1 a C_2	24
Tab. 6 Hodnoty koeficientu odolnosti proti deformaci k_r	28
Tab. 7 Vlastnosti stroje Ursviken OptiFlex 320t	36
Tab. 8 Mechanické vlastnosti S355MC	38
Tab. 9 Chemické složení S355MC	38
Tab. 10 Chemické složení oceli 19 191	39
Tab. 11 Mechanické vlastnosti a chemické složení materiálu 12 061	42
Tab. 12 Chemické složení oceli 11 140	42
Tab. 13 Časy výroby prolisů pro jednotlivé způsoby	58
Tab. 14 Ceny výroby pro jednotlivé varianty	60

SEZNAM PŘÍLOH

1. Fotografie momentálního nástroje
2. Detail prolisu
3. Monitor stroje s programem pro prolis
4. Fotky z tahovky a smykovky
5. Stávající výkres dílce
6. Řezné plány

SEZNAM VÝKRESŮ

Dílec segmentu dna sila	DP20 – 182604_1
Prolisovací nástroj	DP20 – 182604_PN
Horní nástroj	DP20 – 182604_HN
Kusovník horního nástroje	DP20 – 182604_HN_K
Vložka funkční desky	DP20 – 182604_HN_1_1
Spodní nástroj	DP20 – 182604_SN
Kusovník spodního nástroje	DP20 – 182604_SN_K
Střižník	DP20 – 182604_SN11

Přílohy:

1) Fotografie momentálního nástroje

Horní nástroj



Spodní nástroj

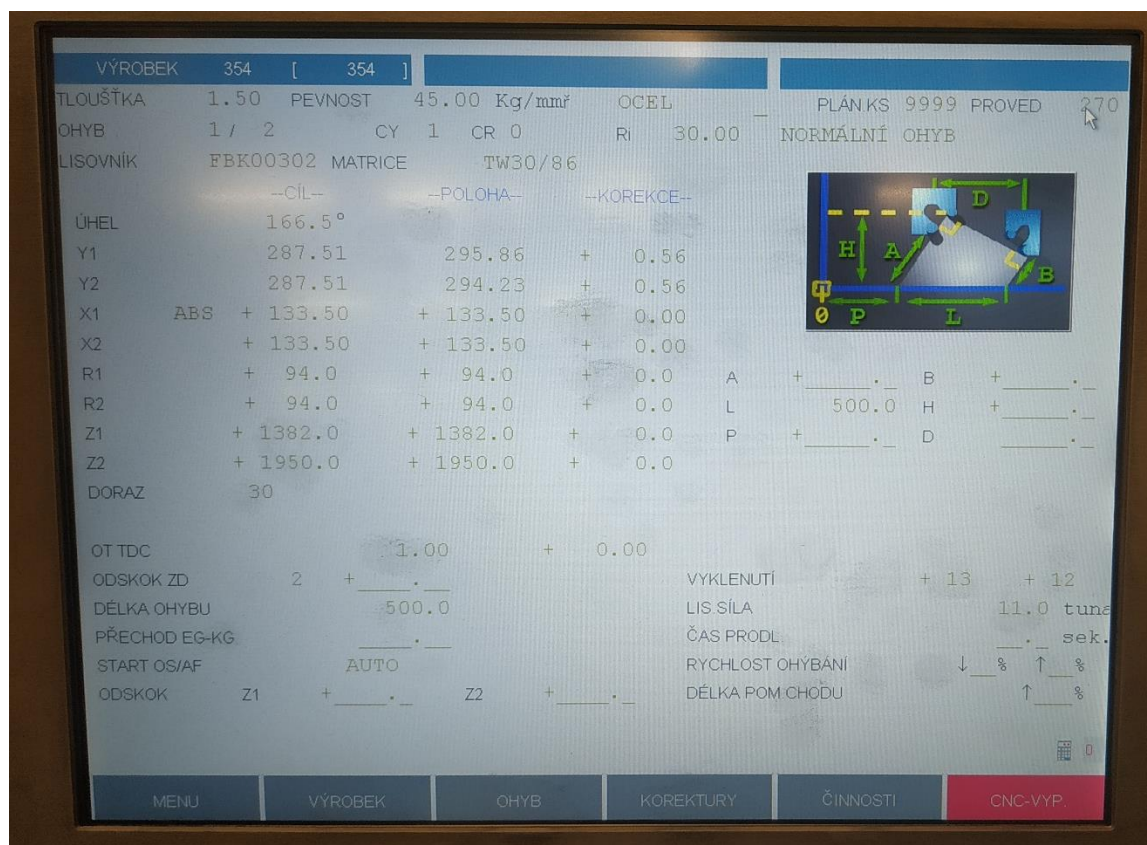




2) Detail prolisu

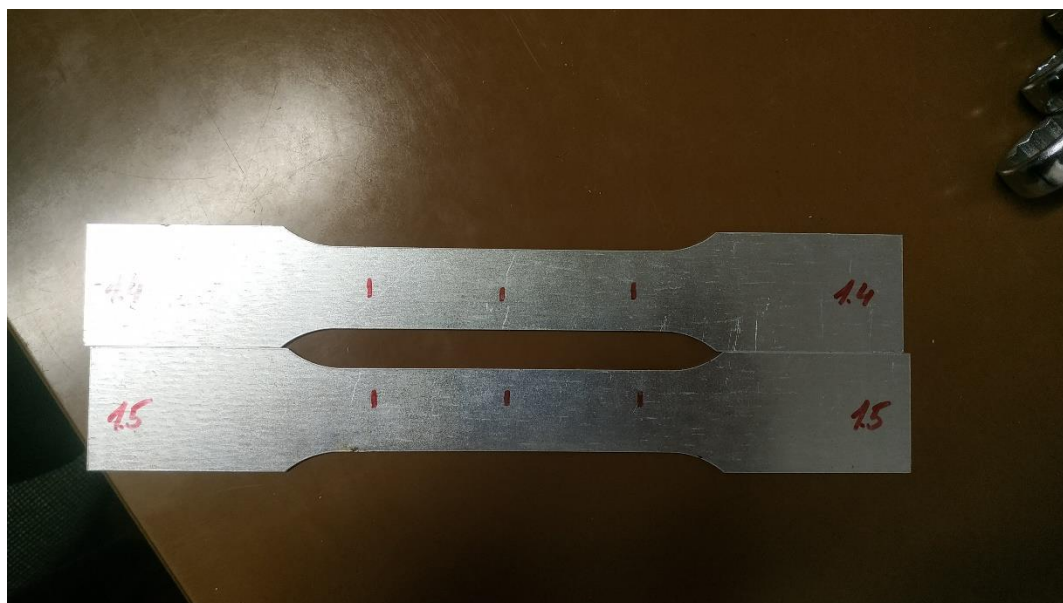


3) Monitor stroje s programem pro prolis.



4) Fotky z tahovky a smykovky

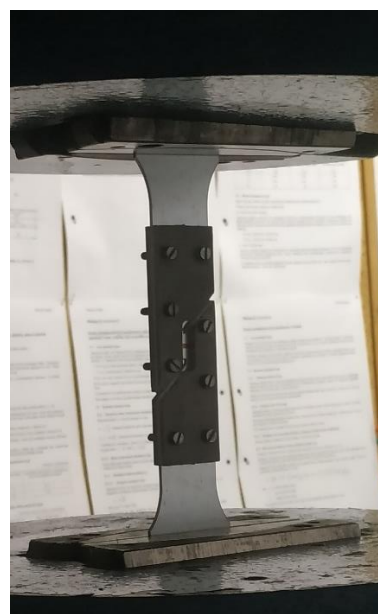
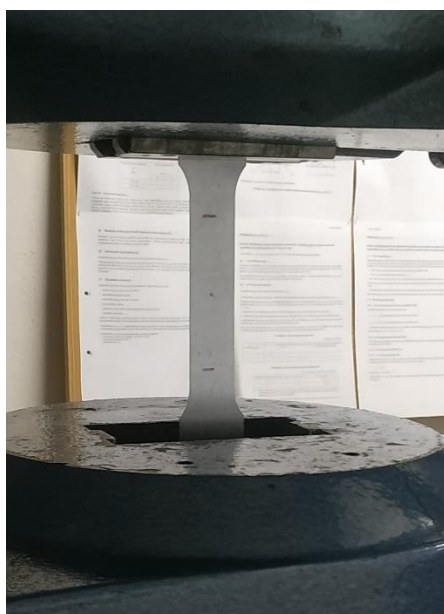
Vzorky pro tahovou zkoušku



Vzorky pro zkoušku smykem

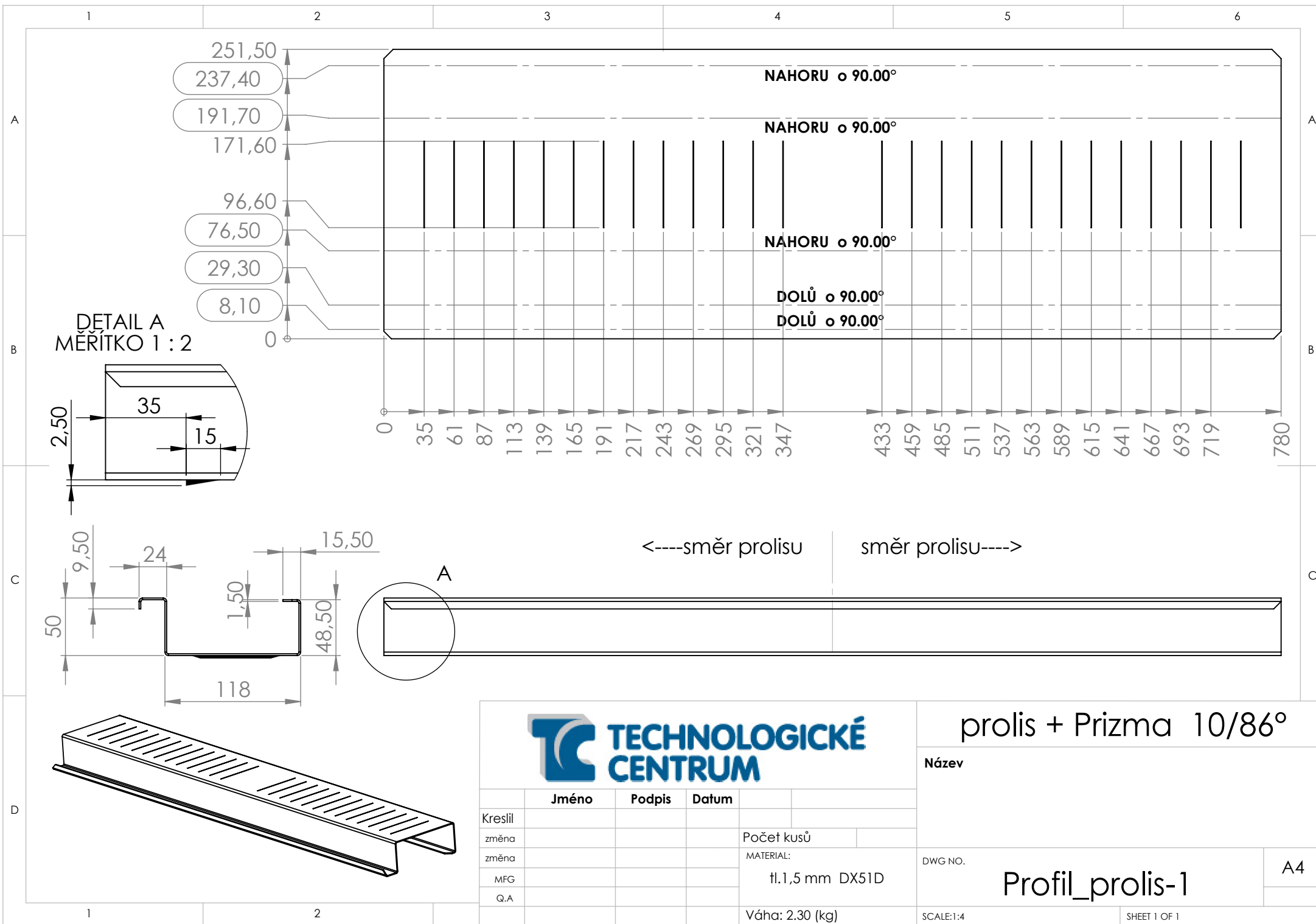


Detaily zkoušek



Výsledky zkoušek





Řezný plán

98561

Práce	98561	Stroj	Byspeed 3015 - Bylaser 4400	
Popis	1,5 - DX51D, 1720ks	Materiál	DX51D	
		Tloušťka	1,50	mm
Informace1		Počet různých dílců	1	
Informace2		Použité technologie	Standard, Řezání, Normální	
Informace3		Řezný čas	00:05:28	
		Vedlejší čas	00:00:20	Počet dílců celkem
Odpad	24,71%	Čas celkem	00:05:49	12

Tabule

Rozměr X	Rozměr Y	Hmotnost	Počet	Informace o artiklu
2500,00 mm	1250,00 mm	36,797 kg	1	

Dílce

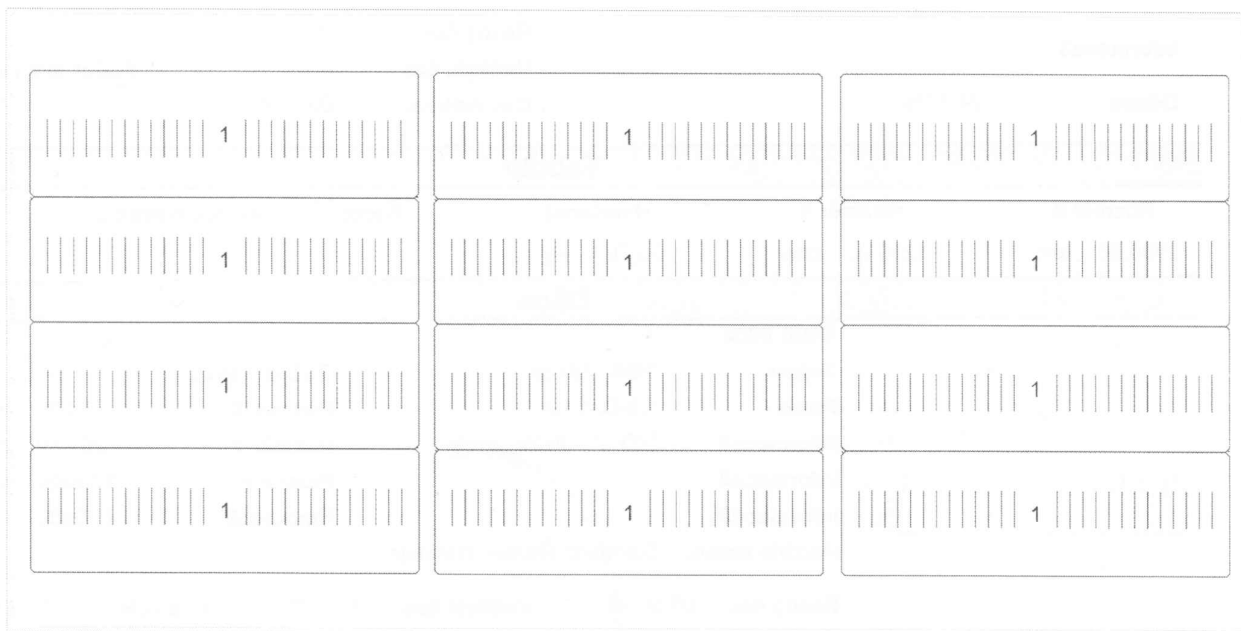
	Číslo dílce	1		
	Název	FBK_32228	Požad. / skut.	12 / 12
	Popis	1,5-DX51D	Rozměr X	780,00 mm
	Informace1	DXF P. Profil_prolis-1	Rozměr Y	251,50 mm
	Informace2		Plocha ef.	0,19606 m²
	Informace3		Hmotnost	2,30866 kg
	Použité techn.	Standard, Řezání, Normální		
	Řezný čas	00:00:31	Vedlejší čas	00:00:00
			Čas celk.	00:00:31

Řezný plán

98561

Řezné plány

Název řezného plánu	98561-01		Plánovaný rozměr X	2455,49	mm
Opakování tabulí	1	Standard, Řezání,	Plánovaný rozměr Y	1126,08	mm
Odpad	24,71%	Normální	Rozměr tabule X	2500,00	mm
Počet dílců	12		Rozměr tabule Y	1250,00	mm
Řezný čas	00:05:28	Vedlejší čas	00:00:20	Čas celk.	00:05:49



Čís.	Název dílce	Rozměr X	Rozměr Y	Hmotn.	Řezný čas	Počet
1	FBK_32228	780,00 mm	251,50 mm	2,309 kg	00:00:31	12

Řezný plán

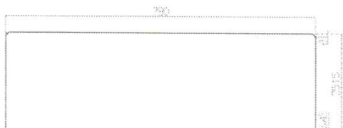
98561

Práce	98561	Stroj	Byspeed 3015 - Bylaser 4400	
Popis	1,5 - DX51D,1720ks	Materiál	DX51D	
		Tloušťka	1,50	mm
Informace1		Počet různých dílců	1	
Informace2		Použité technologie	Standard, Řezání, Normální	
Informace3		Řezný čas	00:02:00	
		Vedlejší čas	00:00:02	Počet dílců celkem
Odpad	24,71%	Čas celkem	00:02:02	12

Tabule

Rozměr X	Rozměr Y	Hmotnost	Počet	Informace o artiklu
2500,00 mm	1250,00 mm	36,797 kg	1	

Dílce

	Číslo dílce	1		
	Název	FBK_TESTKUS	Požad. / skut.	12 / 12
	Popis	1,5-DX51D	Rozměr X	780,00 mm
	Informace1	DXF P. Profil_prolis-1	Rozměr Y	251,50 mm
	Informace2		Plocha ef.	0,19606 m²
	Informace3		Hmotnost	2,30866 kg
	Použité techn.	Standard, Řezání, Normální		
	Řezný čas	00:00:14	Vedlejší čas	00:00:00
			Čas celk.	00:00:14

Řezný plán

98561

Řezné plány

Název řezného plánu	98561-01		Plánovaný rozměr X	2455,49	mm
Opakování tabulí	1	Standard, Řezání, Normální	Plánovaný rozměr Y	1126,08	mm
Odpad	24,71%		Rozměr tabule X	2500,00	mm
Počet dílců	12		Rozměr tabule Y	1250,00	mm
Řezný čas	00:02:00	Vedlejší čas	00:00:02	Čas celk.	00:02:02

1	1	1
1	1	1
1	1	1
1	1	1

Čís.	Název dílce	Rozměr X	Rozměr Y	Hmotn.	Řezný čas	Počet
1	FBK_TESTKUS	780,00 mm	251,50 mm	2,309 kg	00:00:14	12