

# **ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

## **FAKULTA STROJNÍ**

**Studijní program:** Konstruování strojů a technických zařízení

**Studijní specializace:** Konstruování výrobních strojů a zařízení

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Návrh speciálního přípravku pro kování ze 4 stran**

**Autor:** Bc. Jan POMPL

**Vedoucí práce:** Doc. Ing. Václav KUBEC, Ph.D.

Akademický rok 2020/2021

# ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2020/2021

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan POMPL**  
Osobní číslo: **S19N0202P**  
Studijní program: **N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení**  
Studijní obor: **Konstruování výrobních strojů a zařízení**  
Téma práce: **Návrh speciálního přípravku pro kování ze 4 stran**  
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

### Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Cílem práce je navrhnout speciální přípravek pro kování tvářeného kusu ze čtyř stran pro kovací hydraulický lis. Parametry přípravku budou vycházet ze specifikace hydraulického lisu, který provozuje firma COMTES FHT a.s. Konstrukční návrh přípravku bude obsahovat také řešení systému výměny kovadel. Základní nosné části přípravku budou pevnostně zkontrolovány pomocí numerických simulací pro maximální zatížení.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Analýza zadání, rešerše
2. Specifikace požadavků
3. Návrh variant řešení
4. Konstrukční návrh vybrané varianty
5. Zpracování výkresové dokumentace

Rozsah diplomové práce: **40-60 stran**  
Rozsah grafických prací: **podle potřeby**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

[1] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojního inženýra: obecné strojní části. Praha: Computer Press, 1999. ISBN 80-7226-055-3

[2] RUDOLF, B. *Toářecí stroje: základy výpočtů a konstrukce : vysokoškolská učebnice.* 2., opr. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1982.

Podkladové materiály, výkresy, prospekty, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Václav Kubec, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů

Konzultant diplomové práce: **Ing. Danuše Jánská**  
COMTES FHT a.s.

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2021**

L.S.

---

**Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.**  
děkan

---

**Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.**  
vedoucí katedry

## **Prohlášení o autorství**

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

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

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## **Poděkování**

Touto formou bych rád poděkoval zejména vedoucímu práce doc. Ing. Václavu Kubcovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícné jednání. Dále bych rád poděkoval zaměstnancům společnosti COMTES FHT, za poskytnutí potřebných informací a pomoc při řešení některých specifických problémů. Velký dík patří v neposlední řadě také všem mým nejbližším za podporu.

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Pompl	<b>Jméno</b> Jan	
<b>STUDIJNÍ PROGRAM</b>	N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Doc. Ing. Kubec, Ph.D.	<b>Jméno</b> Václav	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b><del>BAKALÁŘSKÁ</del></b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Návrh speciálního přípravku pro kování ze 4 stran		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2021
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	105	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	93	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	11
---------------	-----	---------------------	----	----------------------	----

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b> <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Diplomová práce se zabývá tématem radiálního kování a obsahuje konstrukční návrh přípravku pro kování ze čtyř stran. Přípravek je vkládán do pracovního prostoru hydraulického kovacího lisu. V práci jsou uvedeny čtyři koncepční varianty řešení. Nejlépe vyhovující varianta je podrobně rozpracována a zkontrolována MKP výpočtem. Návrh obsahuje také řešení pro výměnu kovadel.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b> <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	tváření, radiální kování, radiální kovací stroj, zařízení pro kování ze čtyř stran, hydraulický kovací lis

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Pompl		Name Jan	
<b>STUDY PROGRAMME</b>	N0715A270017 Design engineering of machines and technical devices			
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Kubec, Ph.D.		Name Václav	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS			
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	Delete when not applicable	
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Design of a special tool for forging from 4 sides			

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2021
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	105	<b>TEXT PART</b>	93	<b>GRAPHICAL PART</b>	11
----------------	-----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	This thesis deals with the topic of radial forging and contains mechanical design of a special tool for forging from four sides. The device is installed on a forgigng table of a hydraulic forging press. The thesis indicates four construction variants. The most suitable solution is fully developed and verified with the use of FEM. The way of die change is included.
<b>KEY WORDS</b>	forming, radial forging, radial forging machine, four die forging device, hydraulic forging press

## Obsah

<b>1 Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Cíl práce.....</b>	<b>10</b>
<b>2 Představení zadavatele COMTES FHT .....</b>	<b>11</b>
<b>3 Tváření.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Klasifikace .....</b>	<b>12</b>
3.1.1 Podle stavu napjatosti: .....	12
3.1.2 Podle teploty .....	12
<b>3.2 Kování .....</b>	<b>14</b>
3.2.1 Volné .....	14
3.2.2 Zápustkové kování: .....	18
<b>4 Přechod od dvou kovadel ke čtyřem .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1 Radiální kovací stroje.....</b>	<b>19</b>
4.1.1 Historický vývoj .....	21
4.1.2 Pohony.....	22
4.1.3 Uspořádání.....	25
4.1.4 Tváření dutých výkovek:.....	25
4.1.5 Automatizace.....	26
<b>4.2 Zařízení pro kování ze čtyř stran .....</b>	<b>27</b>
4.2.1 Základní popis a princip fungování zařízení .....	28
4.2.2 Přínosy použití zařízení .....	29
4.2.3 Manipulace s výkovkem a dosažitelné tvary .....	30
4.2.4 Dostupné modely.....	30
<b>5 Specifikace požadavků .....</b>	<b>32</b>
<b>5.1 Popis pracoviště.....</b>	<b>32</b>
5.1.1 Hydraulický kovací lis.....	32
<b>5.2 Kovací manipulátor .....</b>	<b>34</b>
<b>5.3 Stanovení zatížení přípravku a rozměrů kovadel .....</b>	<b>35</b>
<b>5.4 Shrnutí zadaných a specifikovaných požadavků .....</b>	<b>37</b>
5.4.1 Požadavky nutné.....	37
5.4.2 Požadavky vedlejší .....	38
<b>6 Návrh variant řešení přípravku pro kování ze čtyř stran: .....</b>	<b>39</b>
<b>6.1 Varianta A .....</b>	<b>39</b>
6.1.1 Určení základních rozměrů:.....	39
6.1.2 Shrnutí .....	41
<b>6.2 Varianta B .....</b>	<b>41</b>
6.2.1 Určení základních rozměrů.....	41
6.2.2 Shrnutí .....	43
<b>6.3 Varianta C .....</b>	<b>43</b>
6.3.1 Určení základních rozměrů.....	44
6.3.2 Shrnutí .....	46
<b>6.4 Varianta D .....</b>	<b>46</b>
6.4.1 Porovnání se stávajícím sortimentem: .....	47
6.4.2 Patentová kontrola .....	47
6.4.3 Určení základních rozměrů.....	48
6.4.4 Shrnutí .....	51



6.5	Hodnocení koncepčních variant .....	51
7	Konstrukční návrh vybrané varianty .....	53
7.1	Základní dimenzování .....	53
7.1.1	Způsob řešení a předpoklady výpočtu .....	53
7.1.2	Silové účinky působící na klín: .....	54
7.1.3	Stanovení velikosti kontaktní plochy klínu s hlavním tělem .....	55
7.1.4	Výpočet výšky kriticky namáhaného průřezu hlavního těla .....	55
7.1.5	Namáhání při mezním stavu zatížení .....	58
7.2	Rozčlenění přípravku na jednotlivé části a konstrukční uzly .....	59
7.3	Vazba pro přenos hlavního zatížení na klíny .....	59
7.3.1	Stanovení parametrů pro výběr vhodného materiálu .....	60
7.3.2	Používané materiály .....	61
7.3.3	Výběr vhodného materiálu .....	62
7.4	Zajištění klínů v axiálním směru .....	62
7.5	Zpětný pohyb klínů: .....	63
7.5.1	Varianta D1A .....	64
7.5.2	Varianta D1B .....	64
7.5.3	Varianta D1C .....	65
7.5.4	Výběr výsledné varianty zajištění zpětného pohybu .....	66
7.6	Upínání kovadel do přípravku .....	67
7.6.1	Varianta D2A .....	67
7.6.2	Varianta D2B .....	68
7.6.3	Varianta D2C .....	69
7.6.4	Výběr výsledného řešení .....	70
7.7	Mazací systém .....	71
7.7.1	Popis konstrukčního řešení .....	71
7.8	Další konstrukční prvky a provedené úpravy .....	72
7.8.1	Provedené úpravy .....	72
7.8.2	Další prvky .....	73
7.9	Kontrolní MKP výpočet .....	74
7.9.1	Popis modelu .....	74
7.9.2	Síť modelu .....	75
7.9.3	Materiálové vlastnosti .....	76
7.9.4	Okrajové podmínky .....	77
7.9.5	Výsledky analýzy .....	77
7.9.6	Zhodnocení výsledků při zatížení silou 25 MN .....	82
8	Systém výměny kovadel .....	83
8.1	Konstrukce držáku pro výměnu kovadel .....	83
8.2	Popis procesu výměny .....	85
9	Ekonomické zhodnocení .....	86
10	Závěr .....	87
	Seznam použitých zdrojů .....	88
	Seznam obrázků .....	91
	Seznam tabulek .....	94
	Seznam příloh .....	94

**Software..... 94**

# 1 Úvod

Kování je výrobní proces řadící se mezi tvářecí technologie. Patří k nejstarším způsobům zpracování kovů. Působením nástrojů vhodného tvaru vznikají v tvářeném materiálu plastické deformace, které vedou k dosažení požadovaného tvaru výrobku bez porušení soudržnosti. Ačkoli může kování v dnešní době moderních a rychle se vyvíjejících technologií působit poněkud zastarale, stále se jedná o velice perspektivní a v řadě případů velmi těžko nahraditelný proces přinášející řadu výhod. Výhody spočívají především ve velice efektivním využití materiálu a vysoké produktivitě. Používá se jak k hrubému zpracování těžkých odlitků, tak pro výrobu malých strojních dílů. Dosahováním poměrně přesných rozměrů výkovků se snižuje rozsah potřebných obráběcích operací. Tvářením se obecně zlepšují mechanické vlastnosti odlitků.

V současnosti jsou na výrobní procesy kladeny stále vyšší požadavky. Týkají se zejména oblastí produktivity, přesnosti a jakosti výrobků, hospodárnosti, dopadu na životní prostředí a dalších. Zároveň se neustále vyvíjejí a používají nové materiály s lepšími mechanickými vlastnostmi, které se často vyznačují obtížnou tvařitelností. Hlavním přínosem navrhovaného přípravku umožňujícího kování ze čtyř stran je právě zvýšení produktivity kování a možnost snadnějšího zpracování obtížně tvařitelných materiálů.

## 1.1 Cíl práce

Cílem práce je navržení přípravku pro kování za tepla působením čtyř kovadel na tvářený kus. Přípravek bude vkládán do konkrétního hydraulického kovacího lisu vlastněného zadavatelskou firmou COMTES FHT, který jej bude pohánět. Lis disponuje jmenovitou silou 25 MN. Požadavek vznikl se záměrem rozšíření portfolia firmou nabízených technologií. Přípravek se zdvihem 100 - 200 mm má umožnit tvářením materiálu o velikosti průřezu 50 - 350 mm. Zadavatel rovněž požaduje návrh způsobu výměny kovadel včetně konstrukčního řešení.

## 2 Představení zadavatele COMTES FHT



Obrázek 2-1: Logo společnosti COMTES FHT [3]

Zadavatelem této práce je společnost COMTES FHT a.s. Firma s více jak dvacetiletou historií nabízí komplexní služby v oblasti výzkumu a vývoje primárně kovových materiálů. Služby jsou poskytovány jak v rámci národních a mezinárodních projektů, tak i průmyslovým firmám pro zvýšení jejich efektivnosti a konkurenceschopnosti. Společnost provádí širokou škálu materiálových zkoušek a měření. Jedná se jak o standardní mechanické zkoušky, tak o zkoušky specifické dle přání zákazníka. Poskytovaná měření umožňují určení drsnosti, tvrdosti, termofyzikálních veličin a mnoha dalších parametrů. Firma dále provádí materiálový výzkum zaměřený hlavně na oceli. S tím souvisí přítomnost metalografického oddělení, které provádí analýzy mikrostruktury, lomových ploch, elektronové mikroanalýzy a jiné. Běžné mechanické a metalografické zkoušky probíhají v akreditované laboratoři.

Dalším významným polem působnosti je vývoj technologií zpracování kovových materiálů zejména v oblastech tváření, tepelného zpracování a aditivních technologií. V oblasti tváření má firma zkušenosti s kováním a válcováním za tepla i za studena, protlačováním nebo výrobou plechových výlisků. Navrhované technologie se týkají ocelí, hliníkových slitin, niklových superslitin, titanu a dalších netradičních materiálů.

Většina zmíněných procesů se neobejde bez počítačové podpory. V oddělení počítačového modelování probíhá vývojová konstrukce zabývající se návrhem optimalizovaných konstrukcí, přípravků a strojů pro testování. Ve velké míře se zde také řeší modelování technologických procesů. Získané výsledky pak mohou sloužit například jako podklady pro návrh tvářecích nástrojů. Zmíněné oddělení disponuje nástroji pro reverzní inženýrství.

### 3 Tvářeni

Tváření je výrobní technologie používaná zejména ke zpracování kovů. Využívá se jak pro výrobu hutních polotovarů, tak k výrobě strojírenských polotovarů a součástí. Nástroj musí v tvářeném kuse vyvodit napětí přesahující mez kluzu zpracovávaného materiálu za aktuálních podmínek. Po překročení meze kluzu vznikají plastické, tedy trvalé deformace, během kterých je určitý objem materiálu přemístován bez porušení celistvosti tvářeného objektu. Tento děj přináší řadu nesporných výhod, jako je například již zmíněná produktivita práce a vysoké využití materiálu. Dále se mění struktura a v řadě případů se zlepšují mechanické vlastnosti tvářeného kusu.

#### 3.1 Klasifikace

##### 3.1.1 Podle stavu napjatosti:

###### Objemové:

Během objemového tvářeni nastává deformace materiálu ve směru tří os souřadného systému. Typickými představiteli jsou procesy kování, válcování, tažení drátů a profilů, vytlačování, protlačování a další.

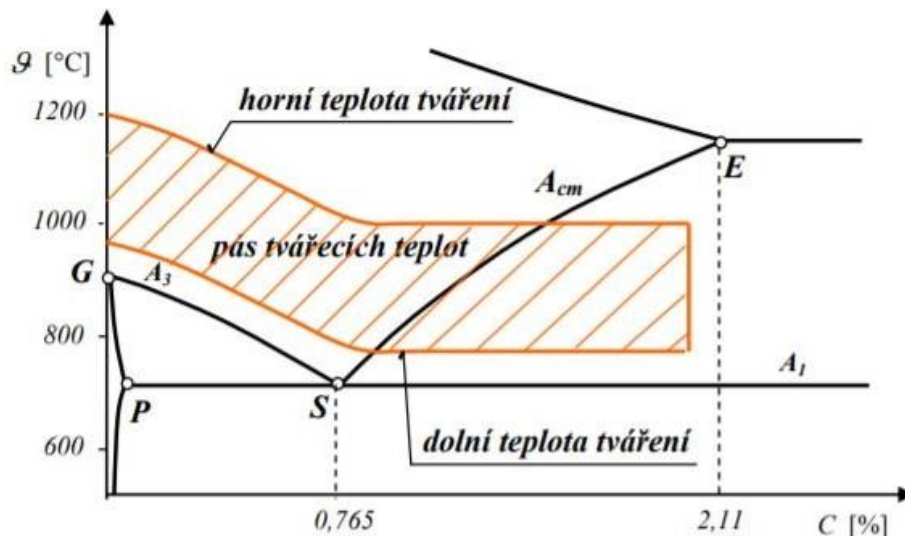
###### Plošné:

U plošného tvářeni deformace převládají ve dvou směrech. Řadí se sem například ohýbání, stříhání a tažení plechů.

##### 3.1.2 Podle teploty

###### Za tepla:

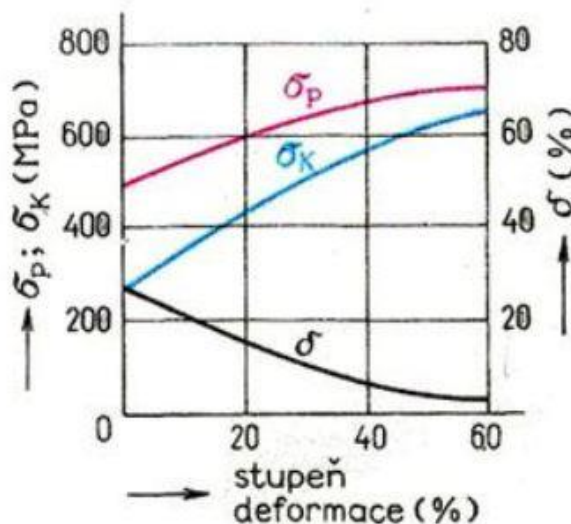
Tváření za tepla probíhá u polotovaru zahřátého nad jeho rekrytalizační teplotu. Ta se pohybuje okolo 40 % teploty tavení daného materiálu. Většinou však kování probíhá za vyšších teplot a to cca 60 - 70 % teploty tavení. S rostoucí teplotou klesá mez kluzu tvářeného materiálu a zvyšuje se jeho tvařitelnost. Tvářeni nad rekrytalizační teplotou vede k uzdravování zpevněné struktury vzniklé deformací již během tvářecího procesu. Na rekrytalizaci má zásadní vliv rychlost deformace. S rostoucí rychlostí nestihne celý proces rekrytalizace (uzdravení) proběhnout, a roste tak odpor proti tvářeni. Při tvářeni za tepla stačí přibližně desetkrát menší tvářecí síly než u tvářeni za studena, což snižuje spotřebu energie a umožňuje použití větších polotovarů nebo naopak méně výkonných strojů. Vysoké teploty dále dovolují dosažení velkých stupňů deformace. Mechanické vlastnosti se zlepšují zejména při tvářeni odlitků vlivem ztuhnutí a dosažení stejnorodé struktury materiálu. Vlivem vysokých teplot vznikají na povrchu tvářeného kusu okraje, které způsobují materiálové ztráty a zhoršení kvality povrchu. [2]



Obrázek 3-1: Teploty pro tváření uhlíkových ocelí za tepla [23]

**Za studena:**

O tváření za studena mluvíme u materiálů s teplotou nižší, než je teplota rekystalizace. U ocelí to obvykle znamená 20 - 30 % teploty tavení. Proces může probíhat i za teplot blízkých se teplotě okolního prostředí. Typickým jevem je zpevnění materiálu, které se zachovává a narůstá se zvětšujícím se stupněm přetváření. Zpevňováním materiálu se zvyšuje mez pevnosti i mez kluzu na úkor snížení tažnosti. V extrémních případech může nastat vyčerpání plastických vlastností materiálu, kdy dojde ke sjednocení meze kluzu s mezí pevnosti. Tažnost materiálu v takovém případě klesá k nule. Obnovení plastických vlastností lze provést ohřevem a následným rekystalizačním žiháním. Tváření za studena se často používá jako závěrečná tvářecí technologie. Hlavním přínosem je získání přesných výrobků s dobrou kvalitou povrchu, jelikož nedochází k okujení. Výhodou je i již zmiňované zlepšení mechanických vlastností. Mezi nevýhody patří nutnost použití velkých tvářecích sil a omezená tvárnost materiálu.



Obrázek 3-2: Změna tažnosti, meze kluzu a meze pevnosti v závislosti na stupni deformace [14]

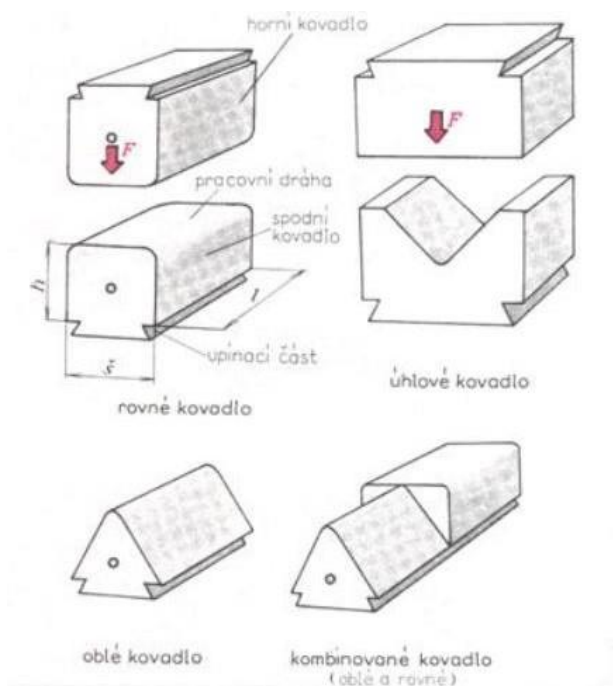
## 3.2 Kování

Jak již bylo uvedeno, kování je výrobní proces řazený do technologie tváření kovů. Může probíhat za tepla i za studena působením úderu nebo postupně narůstající síly na tvářený polotovár. Lze tak zpracovávat téměř všechny kovy. Ruční kování pomocí kladiva a kovadliny se používá již několik tisíciletí. V současnosti se však většinou setkáme se strojním kovááním, které se používá pro výrobu široké škály rozměrů a tvarů výkovků pomocí lisů a bucharů. Kování se dále dělí na volné a zápustkové.

### 3.2.1 Volné

Během procesu se postupně mění tvar tvářeného kusu působením horního a spodního kovadla. Název vychází z toho, že kovadla tvářený materiál neobklopují kompletně. Materiál tak může volně téct mimo kontaktní plochy nástroje převážně ve směru kolmém k působící síle. Tření mezi nástrojem a výkovkem způsobuje vznik soudečkovitého tvaru. Proto je důležité s výkovkem otáčet.

Kovadla mají obvykle jednoduchý tvar (rovinná, válcová, klínová apod.) Mohou mít však i tvar pro vytváření děr a jiných tvarově složitějších prvků. Nástroje jsou obvykle ke stroji uchyceny přes rybinové drážky a klíny vymezující vůli. Díry v čelech slouží k snadné manipulaci. Kovadla se vyrábějí ze zušlechtné nástrojové oceli. [15]



Obrázek 3-3: Základní tvary kovadel [15]

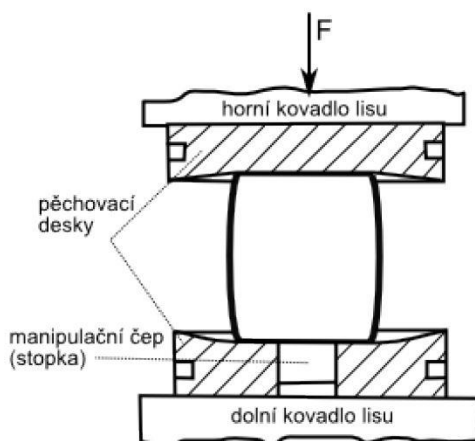
Volné kování může kromě změny tvaru výrobku sloužit také k jeho prokování, které zlepšuje strukturu, tvárnost a mechanické i fyzikální vlastnosti materiálu. Prokováním se odstraňuje hrubá nesterodná lící struktura odlitku a další metalurgické vady. Mění se tvar primárních krystalů a vznikají vlákna. Vlákna mohou způsobovat anizotropii materiálu, a proto je třeba mít během tváření na paměti správnost orientace směru vláken. [2]

Volným kovááním se běžně vyrábějí díly, jako např. disky, náboje, duté válce, kulatiny, hřídele včetně osazení, desky, hranoly a jiné. Tento způsob tváření je vhodný ke zpracovávání až několikátunových výkovků obřích rozměrů. Obtížně se však dosahuje vyšších přesností.

Proto se musí počítat s většími přírůdky na obrábění, které způsobují vyšší spotřebu materiálu a pracnost následného obrábění. Volné kování můžeme rozdělit na následující operace:

### Pěchování:

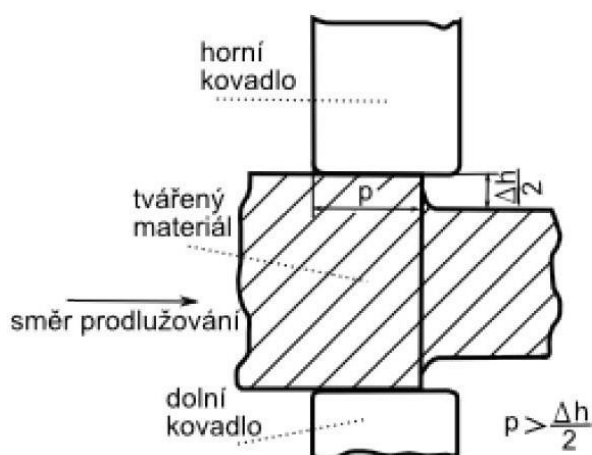
Pěchování je jeden z nejjednodušší tvářecích procesů. Patří však mezi ty nejvíce silově a energeticky náročné. Pěchování materiálu probíhá nejčastěji mezi dvěma plochými kovádky. Využívá se buď k vytvoření požadovaného tvaru, nebo k prokování materiálu. Zvětšuje se příčný průřez a zmenšuje výška. [2]



Obrázek 3-4: Ukázka pěchování materiálu [2]

### Prodlužování:

Prodlužování je asi nejpoužívanější operací volného kování. Probíhá provedením několika úderů vedle sebe. Zvětšuje se tím délka polotovaru ve směru podélné osy za současného zmenšování příčného průřezu. Polotovarem je často střídavě pootáčeno a posouváno pro dosažení požadované deformace. Záběr  $p$  viz obrázek 3-5 musí být vždy menší než šířka (hloubka) kovádel.



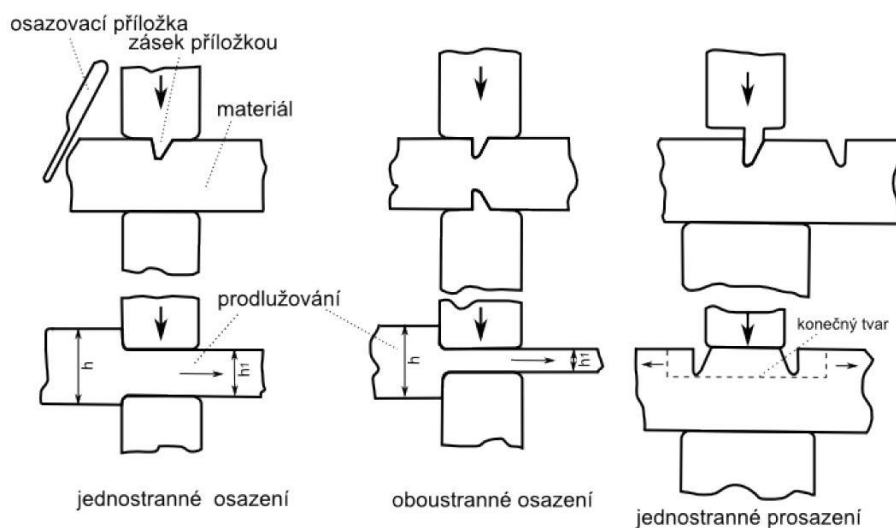
Obrázek 3-5: Ukázka prodlužování materiálu [2]

### Osazování a prosazování:

Osazováním se zmenšuje příčný průřez výkovku pouze ve vymezené části. Jedná se tedy o zvláštní typ prodlužování. K vymezení slouží osazovací příložka, kterou je v požadovaném místě vytvořen zásek. Osazování může probíhat jednostranně nebo oboustranně.



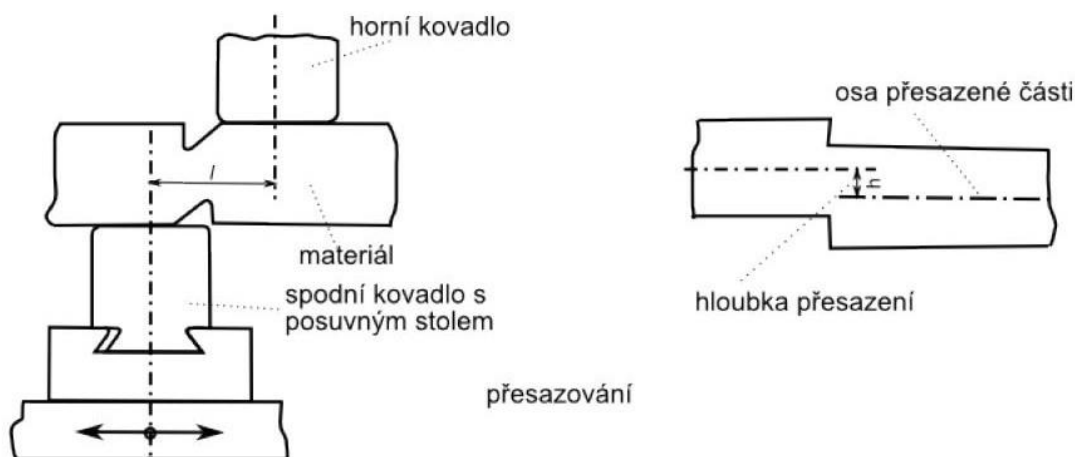
Prosazování je zvláštním typem osazování, kdy části výkovku sousedící s prosazením mají větší průřez než vzniklé prosazení. [2]



Obrázek 3-6: Ukázka osazování a prosazování materiálu [2]

### Přesazování:

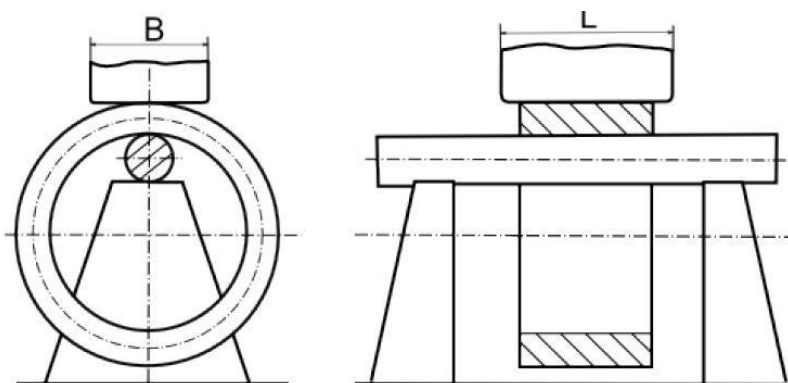
Přesazováním vzniká posunutí jedné části výkovku vůči druhé. Osa posunuté části zůstává rovnoběžná s osou původní.



Obrázek 3-7: Ukázka přesazování materiálu [2]

### Rozkování na trnu:

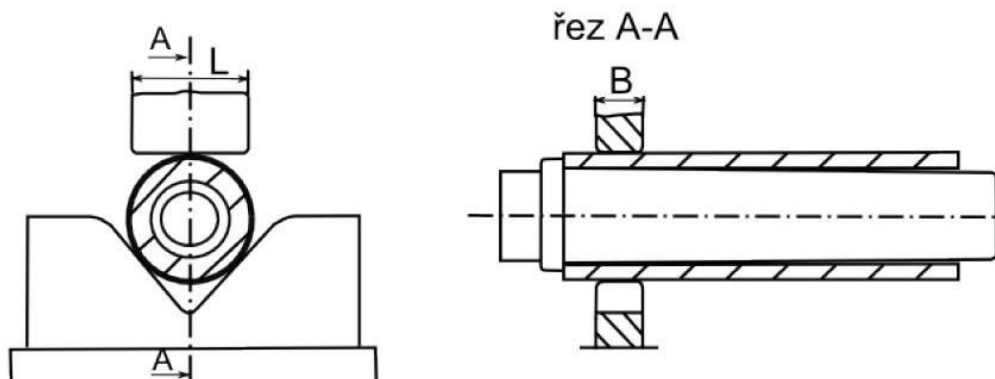
Jedná se o operaci využívanou při kování kroužků a dalších dutých těles. Průměr trnu je menší než vnitřní průměr výsledného výkovku. V průběhu kování se zvětšuje vnější i vnitřní průměr součásti společně s výškou. Tloušťka stěny naopak klesá.



Obrázek 3-8: Ukázka rozkování materiálu na trnu [2]

### Prodlužování na trnu:

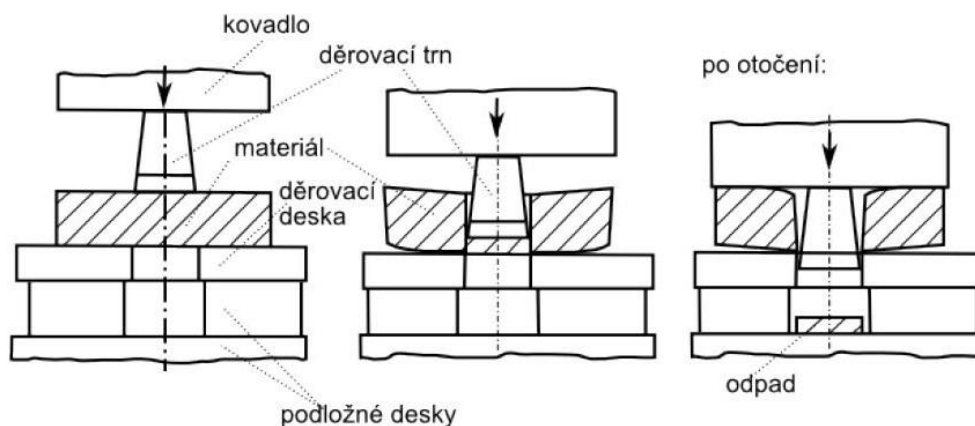
Prodlužování na trnu probíhá na stejném principu jako klasické prodlužování. Používá se však pro výrobu dutých těles, kdy se materiál prodlužuje ve směru podélné osy při zmenšování vnějšího průměru a tloušťky stěny. Průměr trnu definuje vnitřní průměr výkovku.



Obrázek 3-9: Ukázka prodlužování materiálu na trnu [2]

### Děrování:

Děrování může probíhat plným nebo dutým trnem. Plný trn bývá mírně kuželový. Z jedné strany se vtláčí přibližně do poloviny výšky výkovku. Následuje otočení výkovku a proděravění z druhé strany. [2]



Obrázek 3-10: Ukázka děrování materiálu plným trnem [2]

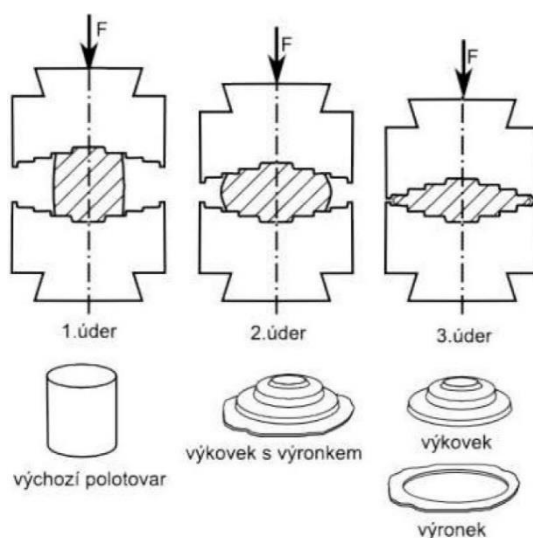
### Sekání, odsekávání, okování:

Sekání slouží k dělení materiálu na samostatné kusy. Odsekáváním se oddělují odpadní části výkovku. Okováním odstraňujeme "soudkovitost" výkovku vzniklou pýchováním.

### 3.2.2 Zápustkové kování:

Zápustka je zpravidla dvoudílný nástroj. Vstupní polotovary se vloží do dutiny spodní zápustky. Materiál je následně tvářen tlakem či údery tvářecího stroje působícího na horní zápustku. Tvar dutiny odpovídá požadovanému tvaru výkovku. Musí se však počítat se smrštěním materiálu. V závislosti na komplikovanosti tvaru výsledného výrobku se používají jednodutinové nebo vícedutinové zápustky. Jednodutinové zápustky jsou vhodné pouze pro jednoduché tvary výkovků bez potřeby předkování. Při výrobě složitějších dílů se ková postupně ve více dutinách, čímž dochází k postupnému zpřesňování požadovaného tvaru. Dutiny se často umísťují do jednoho bloku oceli pro rychlé přesouvání tvářeného kusu. Finální dutina obsahuje navíc okolo obrysového tvaru výronovou drážku, která má pojmout přebytečný materiál. Výronek se následně ostříhne. [2]

Oproti volnému kování se dosahuje mnohem lepší rozměrové přesnosti a jakosti povrchu výkovku. Technologie umožňuje výrobu tvarově velice složitých součástí s dosažením vysokého stupně prokování. Zápustkové kování se hodí zejména pro sériovou výrobu složitějších dílů z důvodu vysoké produktivity a snadné obsluhy. Výkovky však mohou mít poměrně omezené rozměry a hmotnost.



Obrázek 3-11: Kování v jednodutinové zápustce na bucharu [2]

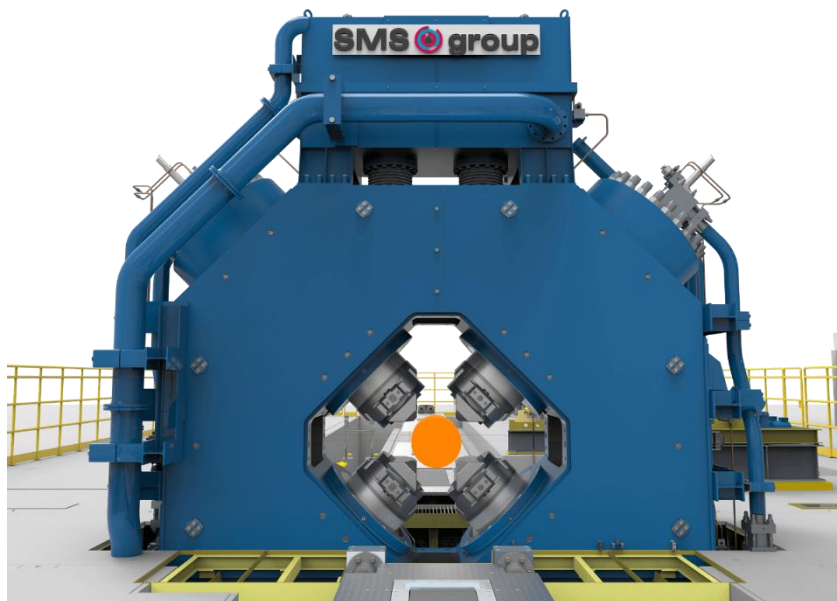
## 4 Přejchod od dvou kovadel ke čtyřem

Volné kování se často používá pro výrobu rotačně symetrických produktů. Průřez může být v celé délce konstantní nebo proměnný. Výroba těchto součástí je podmíněna symetrickou redukcí průřezu. Vzhledem k četné aplikaci válcových dílů ve strojírenství se jejich výroba volným kováním v řadě situací stává neekonomickou. Nižší efektivita výroby souvisí s relativně vysokou časovou náročností prodlužování, s čímž souvisí nutnost dodatečných ohřevů. Zmíněný jev přispěl ke vzniku technologie radiálního kování. Krom zkrácení výrobních časů poskytuje tato technologie i řadu dalších výhod.

Jak už je z názvu patrné, radiální kování probíhá ve směru kolmém na osu symetrie tvářeného kusu. Kovadla jsou rovnoměrně rozmístěná okolo tvářeného polotovaru a pohybují se k němu v příčném směru. Můžeme tedy prohlásit, že se jedná o zvláštní způsob volného kování působením dvou a více pohyblivých nástrojů. Vyšší počet kovadel znásobuje přínosy této metody. V současnosti se nejčastěji setkáme s koncepcí se čtyřmi kovadly. V textu proto bude dále radiálním kováním myšleno kování za použití právě čtyř kovadel. Proces může probíhat na radiálních kovacíh strojích, případně s použitím speciálních zařízení pro kování ze čtyř stran. [6]

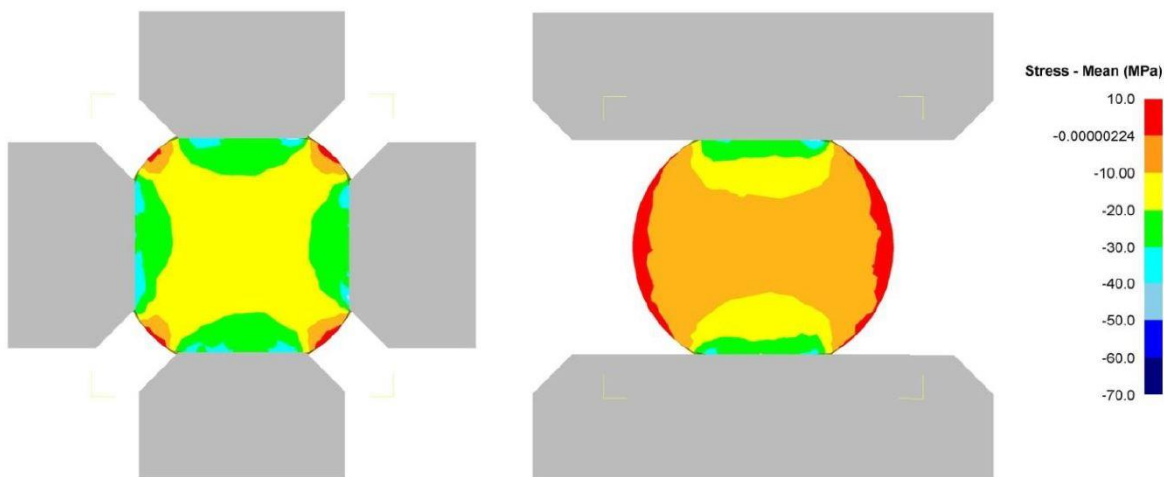
### 4.1 Radiální kovací stroje

Radiální kování se nejčastěji uskutečňuje na radiálních kovacíh strojích. Používají se jak pro kování za studena, tak za tepla. Čtyři synchronně se pohybující kovadla obklopují polotovar a oproti konvenčnímu volnému kování zamezují šíření tvářeného materiálu do stran. Ten tak může téct převážně v požadovaném axiálním směru. Na vysokou produktivitu procesu má vliv hned několik faktorů. Více kovadel snižuje počet potřebných pootočení s polotovarem. Nižší hmotnost pohyblivých částí zase dovoluje dosažení vyšší frekvence úderů, která se odvíjí od typu pohonu. Obecně se dá říci, že se frekvence úderů pohybuje v řádu stovek za minutu. V důsledku intenzivní deformace způsobené údery kovadel o vysoké frekvenci (přibližně 150 - 200 za minutu) navíc často dochází ke generování tepla ve výkovku, takže pokles teploty tvářeného kusu je minimální. Vzhledem ke zmíněným okolnostem není oproti klasickému volnému kování potřeba dodatečného ohřevu materiálu během tvářecího procesu. Tím se navíc snižuje energetická náročnost celého procesu. Oproti volnému kování se s použitím radiálních kovacíh strojů dosahuje vesměs přesnějších rozměrů a lepší kvality povrchu výkovku. Výsledkem je redukce obráběcích operací, což snižuje výrobní náklady. [6] [21]



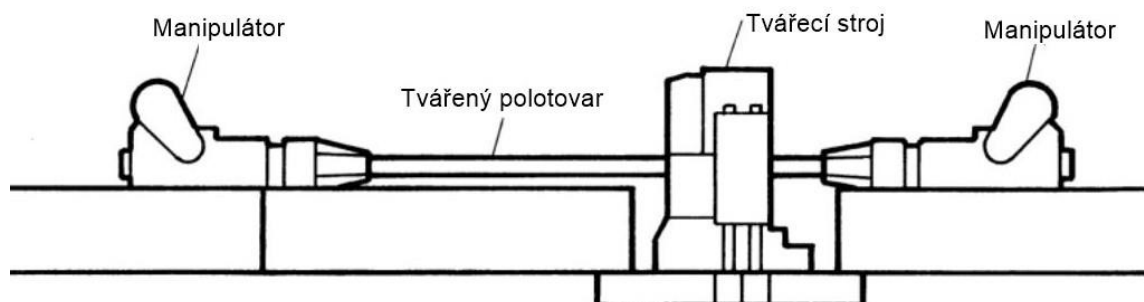
Obrázek 4-1: Ukázka hydraulického radiálního kovacího stroje řady SMX od společnosti SMS [22]

Krom již zmíněných přínosů umožňuje použití čtyř kovadel další výhody týkající se změn vnitřní struktury a tvařitelnosti materiálů. Při obklopení tvářeného polotovaru více kovadly v něm vzniká převážně tlakové napětí. Tahové napětí na povrchu tvářeného kusu je redukováno, což minimalizuje možnost vzniku trhlin v této oblasti. Tvářet tak lze širokou škálu materiálů, od obyčejných uhlíkových ocelí, přes oceli nerezové, nástrojové, až po obtížně tvařitelné slitiny niklu a titanu. Napětí je v průřezu výrobku rozloženo rovnoměrněji. Proto dochází k prokování hlouběji k jádru viz obrázek 4-2 a odstranění hrubé lící struktury. [21]

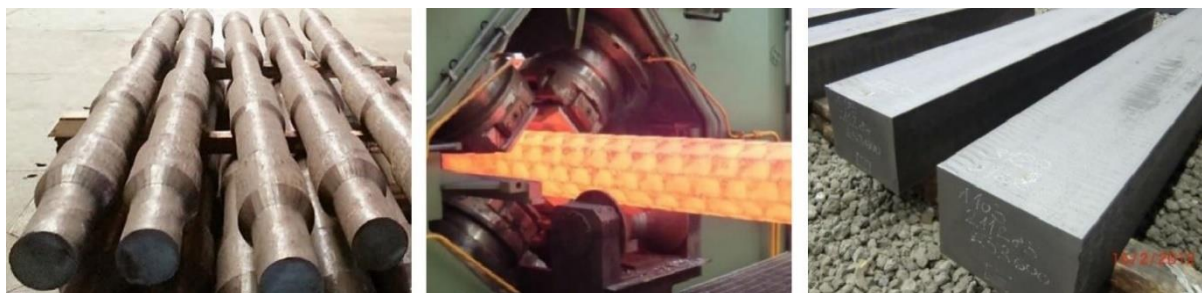


Obrázek 4-2: Rozložení napětí v průřezu tvářeného materiálu za použití 4 a 2 kovadel [12]

S využitím radiálních kovacích strojů je možné vyrábět výkovky rozličných průřezů. Nejčastěji se jedná o průřez kruhový. Dalšími tvary mohou být čtverce, obdélníky nebo pravidelné mnohoúhelníky se středem souměrnosti. Rovněž není problém vytvořit osazení, kónické tvary a s využitím trnu i díly s dutinou viz kapitola 4.1.4. Pro získání požadovaného tvaru je výkovek postupně posouván a natáčen v pracovním prostoru stroje. Děje se tak za asistence jednoho nebo častěji dvou manipulátorů. Podrobnější popis jejich práce je vysvětlen v kapitole 4.1.5 o automatizaci.



Obrázek 4-3: Základní schéma radiálního tváření s využitím dvou manipulátorů [1]



Obrázek 4-4: Příklady výrobků získaných radiálním kováním, vlevo - osazené osy železničních vozů, uprostřed - kování oktagonálního průřezu, vpravo - výrobky čtvercového průřezu [18]

Přes řadu kladů má zmíněná technologie i své nevýhody. Vzhledem k celkové složitosti některých typů zařízení je jejich zdvih poměrně omezený. Při velké redukci velikosti průřezu je nutné průběžně měnit sady kovádel. Při zpracování obtížně tvařitelných materiálů může snadno nastat vyčerpání silové kapacity stroje. U klasického volného kování s tím problém nebývá, jelikož většinou dříve dojde k vyčerpání plasticity tvářeného materiálu. [19]

Aby mohly kovy konkurovat stále se více rozmáhajícím kompozitům, musejí být dostatečně lehké. To vyžaduje výrobu slitin s výbornými mechanickými vlastnostmi, které jsou často obtížně tvařitelné. Použití rotačně symetrických dílů se stále více rozmáhá s rozvojem elektromobility. Proto mají do budoucna radiální kovací stroje značný potenciál. [8]

#### 4.1.1 Historický vývoj

Radiální kování je v porovnání s ostatními tvářecími metodami poměrně nová záležitost. První radiální kovací stroj navrhl v roce 1946 Bruno Kralowetz, zakladatel dnes již v tomto oboru věhlasné rakouské firmy GFM. Navržené zařízení využívalo k tváření 3 kovádel. Stejná firma pak v roce 1960 představila radiální kovací stroj pracující se čtyřmi kovádeli. První stroje firmy GFM využívaly pneumaticko-hydraulický pohon. Pracovní zdvih byl vykonán energií ve válci stlačeného dusíku. Vracení pístu do výchozí polohy a stlačení plynu zajišťoval hydraulický systém. Zmíněný princip byl v průběhu let nahrazen mechanickým pohonem. [6] [8]



Obrázek 4-5: Druhý postavený radiální kovací stroj vertikální koncepce [8]

V osmdesátých letech dvacátého století vznikl požadavek na výrobu radiálního kovacího stroje s hydraulickými pohony. Zařízení mělo kombinovat výhody mechanických radiálních strojů a hydraulického lisu pro volné kování. První hydraulický radiální kovací stroj vyvinula společnost SMS group ve spolupráci s Technickou univerzitou ve Stuttgartu. Představila ho v roce 1989. Zařízení neslo název RUMX 2000, kde první 3 písmena jsou německou zkratkou radiálního tvářecího stroje a písmeno X odkazuje na způsob rozmístění kovadel v rámu. První spuštění produkčního hydraulického radiálního stroje proběhlo v Německu v roce 1993. Přínosy použití hydraulického pohonu jsou popsány níže. [18]



Obrázek 4-6: První produkční hydraulický tvářecí stroj [18]

#### 4.1.2 Pohony

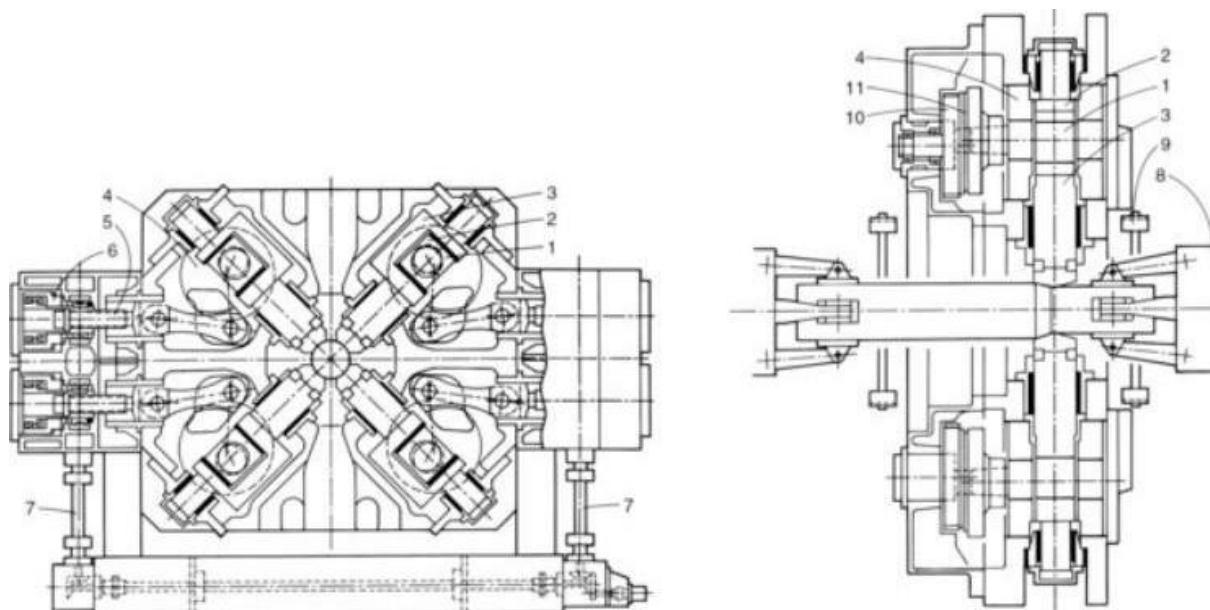
Každé z kovadel má svůj vlastní pohonný mechanismus uložený v uzavřeném rámu. Jednotlivá kovadla s pohony si tak můžeme představit jako samostatné nízkozdvihové lisy. Kovadla se nachází poměrně blízko tvářeného polotovaru. Malé zdvihy a menší hmotnosti pohyblivých částí dovolují dosáhnout vysoké frekvence úderů. Stejně velké opačně orientované

síly eliminují přenos sil a rázů do základu stroje. Pro radiální kovací stroje se nejčastěji používají dva typy pohonů - mechanický a hydraulický. Občas se můžeme setkat i s jejich kombinací. [6]

### Mechanický pohon:

Jedná se o nejvíce zastoupený typ pohonu. Lineární vratný pohyb každého kovádlu je uskutečňován převodem z rotačního pohybu. K tomu se používá kulisový nebo častěji výstředníkový mechanismus. Vazbu mezi nástrojem a výstředníkovou hřídelí zajišťuje spojovací tyč. Výstředníková hřídel je uložena v pouzdře, kterým lze natáčet a měnit tak mezní pozice nástrojů podle požadovaného rozměru a tvaru výkovku. Poloha pouzdra se přestavuje pohybovým šroubem. Nastavovací mechanismus je spojen s pístem uzavírajícím hydraulický válec. Tlak oleje ve válci je neustále monitorován a při překročení stanovené hranice odjede nástroj od výkovku natočením přestavitelného pouzdra. Hlídaní tlaku kapaliny tedy slouží jako pojistka proti přetížení. Výstředníkové hřídele jsou poháněny jedním nebo dvěma elektromotory. Musí být zajištěna synchronizace pohybů všech hřídelí. [19]

Mechanický pohon dokáže poskytnout velký počet úderů (až 1800 za minutu). Používá se ke kování menších průřezů. Často se jedná o kování za studena, při kterém se dosahuje dobré kvality povrchu i velice přesných rozměrů v řádu desetin milimetru. U mechanického pohonu musíme počítat se složitějším nastavením stroje. [1] [16]



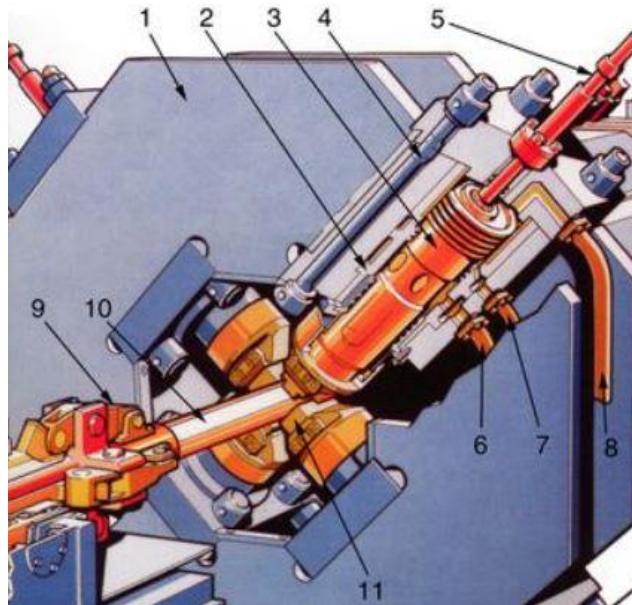
Obrázek 4-7: Radiální kovací stroj se čtyřmi kovádlly a mechanickým pohonem, příčný a podélný řez strojem, 1 - výstředníková hřídel, 2 - kluzný blok, 3 - spojovací tyč, 4 - nastavitelné pouzdro, 5 - pohybový šroub, 6 - ochrana proti přetížení, 7 - pohon pro nastavení pozice kovádel, 8 - manipulátor, 9 - středění, 10 - spojka, 11 - kotouč spojky [19]

### Hydraulický pohon:

Hydraulické radiální kovací stroje využívají k pohybu kovádel lineární hydromotory. Každý pohon nese jedno kovádllo. Nejběžnější je uspořádání čtyř kovádel do tvaru písmene X. Hydraulické pohony poskytují konstantní sílu v průběhu celého zdvihu a poměrně dobře tlumí rázy. Síly vyvozené na výstupním členu bývají oproti mechanickým pohonům mnohem větší. Používají se proto zejména k tváření součástí s velkým průřezem za ohřevu polotovaru. Dalším velkým přínosem hydraulických pohonů je možnost snadného individuálního řízení každého pohonu. V průběhu tvářecího procesu lze měnit rychlost nástroje, zdvih a další parametry



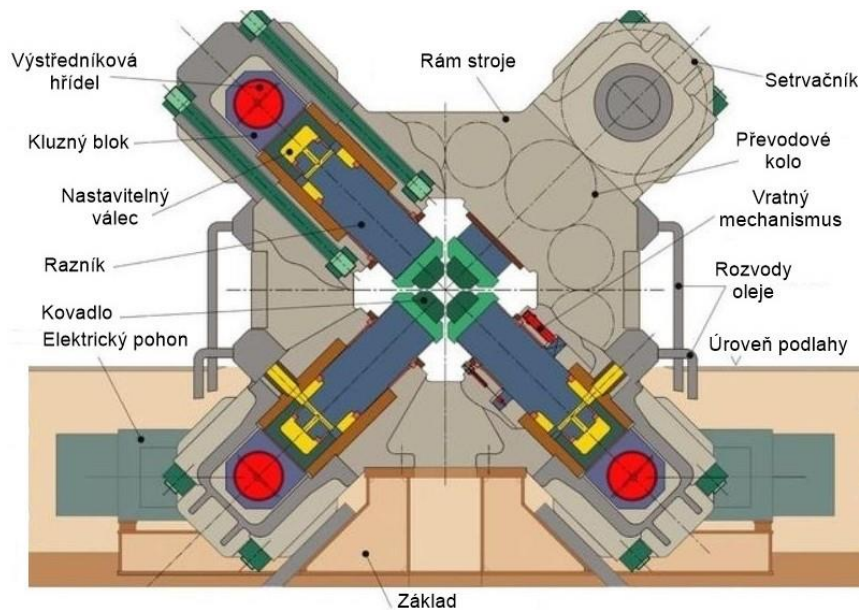
v závislosti na velikosti a tvaru tvářeného materiálu. Hydraulické stroje proto umožňují vyrábět výkovky složitějších tvarů a nabízí velmi dobrou flexibilitu výroby. Oproti mechanickým pohonům jsou o poznání tišší. Na druhou stranu nedokážou dosáhnout tak vysoké frekvence úderů. Maximální frekvence se zpravidla pohybuje do 300 úderů za minutu. Vliv stlačitelnosti kapaliny nedovoluje dosažení tak přesných rozměrových tolerancí jako u mechanických pohonů.



Obrázek 4-8: Radiální kovací stroj s hydraulickým pohonem, 1 - rám stroje, 2 - hydraulický válec, 3 - píst, 4 - spojovací tyč, 5 - pilotní servoventil, 6 - zpětné hydraulické vedení, 7 - přívod oleje pod píst, 8 - přívod oleje nad píst, 9 - manipulátor, 10 - výkovek, 11 - kovádla [19]

### Hydromechanický pohon:

Hydromechanický pohon je jakousi kombinací obou již zmíněných typů. Funguje na následujícím principu. Převod rotačního pohybu na lineární je prováděn opět výstředníkovou hřídelí, která unáší kluzný blok. Vazbu mezi kluzným blokem a razníkem spojeným s kovádlem zajišťuje kapalina uzavřená v hydraulickém válci. Použití hydraulické vazby dovoluje snadné nastavování mezních poloh nástroje změnou objemu kapaliny v závislosti na velikosti a tvaru výkovku. Vazba umožňuje spolehlivou ochranu proti přetížení, přesnější monitorování tvářecí síly a částečné tlumení rázů. V porovnání s čistě hydraulickým pohonem si toto řešení vystačí s výrazně menším množstvím pracovní kapaliny a pohon je celkově kompaktnější. [19]



Obrázek 4-9: Radiální tvářecí stroj se čtyřmi kovadly a hydromechanickým pohonem [19]

#### 4.1.3 Uspořádání

Podle uspořádání můžeme radiální kovací stroje rozdělit, stejně jako mnoho jiných tvářecích strojů, na vertikální a horizontální. Obě varianty pracují v zásadě na stejném principu. Vertikální uspořádání je spíše jen okrajovou záležitostí. Pracuje s výkovkem, jehož osa má svislou orientaci, což komplikuje výrobu dlouhých produktů. Hodí se tedy pro součásti o délce do 2 - 3 metrů. Ve většině případů se setkáme s uspořádáním horizontálním, kde má osa výkovku orientaci rovnoběžnou se zemí. Horizontální stroje se hodí pro výkovky o maximální délce okolo 15 metrů. Další nespornou výhodou je jednodušší manipulace s výrobky a snadnější automatizace výroby. [10]

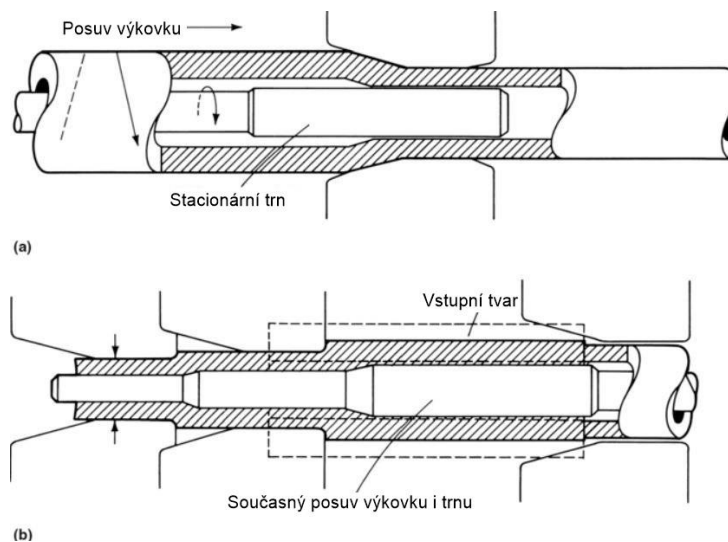
#### 4.1.4 Tváření dutých výkovků:

Krom plných průřezů umožňují radiální kovací stroje výrobu trubek a dalších dutých dílů. Dutinu obsahuje již vstupní polotovar a výsledného tvaru otvoru je dosaženo pomocí trnu, jehož vnější průměr přesně definuje rozměr dutiny. Trny se většinou vyrábí z nástrojové oceli a mohou v nich být zhotoveny chladicí kanály. Chlazení snižuje opotřebení trnu a prodlužuje tak jeho životnost. Při upínání a uvolňování tvářeného kusu je trn zatažen dovnitř manipulátoru. V některých případech se trn může vůči upínacím čelistem pohybovat i během tvářecího procesu. Vzhledem k působení vysokých teplot a tlaků na povrchu trnu je často nutné mazání.



Obrázek 4-10: Vstupní polotovary pro tváření tenkostěnné trubky, zařízení SMS SMX 800, Vítkovice Česká republika [18]

Podle složitosti tvaru dutiny a velikosti výrobku se používají dva typy trnů. Prvním z nich je “krátký“ nebo také stacionární trn. Používá se pro výkovky s konstantní velikostí otvoru, zejména pro dlouhé bezešvé trubky. Po vysunutí z manipulátoru trn zůstává ve stejné pozici na úrovni pohyblivých kovadel, zatímco výkovek se společně s upínací hlavou pohybuje. Trn je mírně kónický, aby mohl být jeho posunutím vzhledem ke kovadlům korigován průměr otvoru. “Dlouhý“ neboli pohyblivý trn slouží pro výrobu dílů s vnitřním osazením včetně kónických přechodů. Trn nemění pozici vzhledem k upínací hlavě výkovku a pohybuje se společně s tvářeným kusem. Lze jej použít jen pro relativně krátké díly. [6]



Obrázek 4-11: Schéma radiálního kování dutých částí s pomocí (a) krátkého trnu, (b) dlouhého trnu [19]

#### 4.1.5 Automatizace

Jedním z hlavních důvodů nasazení radiálních kovacíh strojů do výroby je zmiňovaná vysoká produktivita, tudíž se hodí pro velké objemy výroby. Stroje jsou proto často začleňovány do automatizovaných výrobních linek. S automatizací výroby obvykle souvisí použití dvou manipulátorů. Krom opory pro přesnější pozicování výkovku a kování po celé jeho délce druhý manipulátor navíc umožňuje tok výrobků v jednom směru. Zatímco je výkovek přidržován v pořadí druhým manipulátorem, do prvního už může být upnut další

polotovary připravený pro následné zpracování. Rotace tvářeného kusu musí být synchronizována s pohybem kovadel. Při výrobě osazení navíc přibývá požadavek na řízení zdvihu stroje. Pro dokonalou souhru manipulátorů mezi sebou i s kovací strojem se používá číslicové řízení. Precizní synchronizace zabraňuje nadměrnému opotřebení nástrojů a přispívá k dosažení přesných rozměrů a vhodné mikrostruktury výkovku. [6]

Mimo zmíněných manipulátorů a kovacího stroje jsou do výrobní linky často začleněna další zařízení pro dosažení kompletně automatizované výroby. Polotovary je nejprve vložen do pece. Po ohřátí putuje po válečkovém dopravníku. Následuje přeložení pomocným manipulátorem z dopravníku do kovacího manipulátoru. Jakmile je výrobek vykovan, putuje opět z kovacího manipulátoru přes druhý pomocný manipulátor na válečkový dopravník vedoucí do pily, kde dochází k oříznutí výrobku na potřebnou délku.



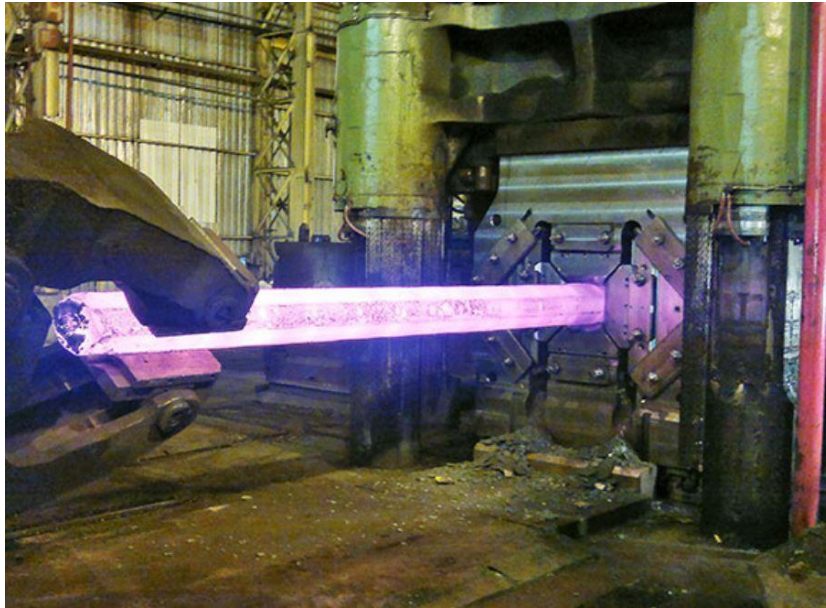
Obrázek 4-12: Automatizovaná linka SMS SMX 600 na Tchaj-wanu [21]

## 4.2 Zařízení pro kování ze čtyř stran

Radiální kovací stroje jsou poměrně specificky zaměřená zařízení. Jejich složitostí odpovídá také vysoká cena. Ta může být i několikanásobně vyšší než cena parametrové odpovídajícího lisu pro volné kování. Nasazení radiálních kovacích strojů při výrobě široké škály produktů v malém počtu kusů se tak stává neekonomické. Zvláště jedná-li se o výrobu rozměrnějších produktů kladoucích vysoké požadavky na výkonové parametry stroje.

Méně častou alternativou k radiálním kovacím strojům jsou zařízení pro kování ze čtyř stran. Jejich vývojem se zabývají primárně na Ukrajině a v Rusku od 80. let minulého století. První experimentální zařízení bylo postaveno v roce 1990. Jediným sériovým výrobcem těchto zařízení je společnost OAO Tyazhpresmash sídlící v Moskvě. Z uvedených zemí se zařízení rozšířila do dalších částí Evropy (Německo, Itálie, Španělsko), Asie (Čína) i Jižní Ameriky (Brazílie). Používají se výhradně pro kování za tepla. [11]

Hlavní výhodou je vložení celého zařízení do pracovního prostoru hydraulického lisu pro volné kování, který patří do běžného vybavení kováren. Zařízení tak k funkci nepotřebuje svůj vlastní pohon, což zjednodušuje konstrukci a s ní spojené výrobní náklady.



Obrázek 4-13: Zařízení pro kování ze čtyř stran umístěné v 30 MN lise v Brazílii [12]

#### 4.2.1 Základní popis a princip fungování zařízení

Základními částmi jsou horní a spodní tělo, dva klíny a výměnná kovádla. Horní tělo se do velké míry podobá tělu spodnímu. Hlavními prvky obou dílů jsou dvě symetrické nakloněné roviny svírající úhel  $90^\circ$ . Spodní tělo je společně se spodním kovádlem pevně uchyceno ke spodní traverze lisu. Horní tělo nese další kovádlo a vůči spodnímu tělu je orientováno opačně. Horní tělo se společně s kovádlem pohybuje ve vertikálním směru v závislosti na poloze horní traverzy. Mezi nakloněné roviny horního a spodního těla, které svírají pravý úhel, jsou po obou stranách zařízení vloženy klíny s vrcholovými úhly  $90^\circ$ . Vertikálním pohybem horního těla směrem dolů se zmenšuje prostor mezi nakloněnými rovinami, což má za následek vysouvání klínů nesoucích boční kovádla. Vzhledem k tomu, že se spodní rám nepohybuje, boční klíny s kovádly tak konají pohyb zároveň ve svislém i vodorovném směru. Aby při zpětném pohybu horního těla došlo k zasunutí klínů, musejí být s hlavními těly spojeny další kinematickou vazbou, kterou zajišťuje lineární vedení. Kovádla lze ze zařízení vyjmout a vyměnit za jiná v závislosti na tvaru a rozměrech požadovaného produktu.

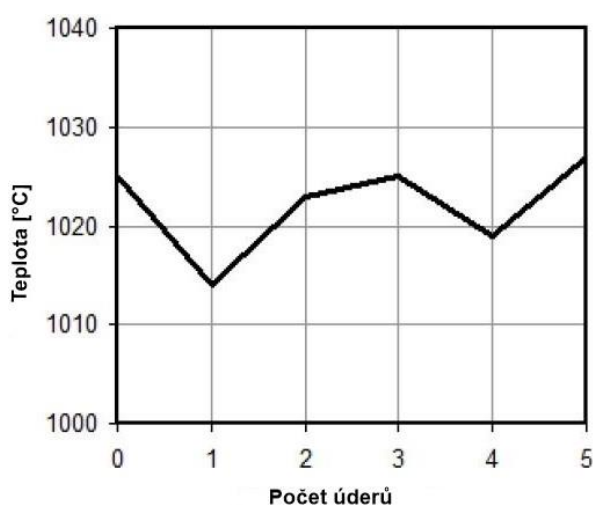


Obrázek 4-14: Zařízení pro kování ze čtyř stran [12]

#### 4.2.2 Přínosy použití zařízení

Zařízení pro kování ze čtyř stran kombinují výhody metod konvenčního volného kování a radiálního kování na radiálních kovacíh strojích. Mnoho z nich už bylo zmíněno u radiálních kovacíh strojů.

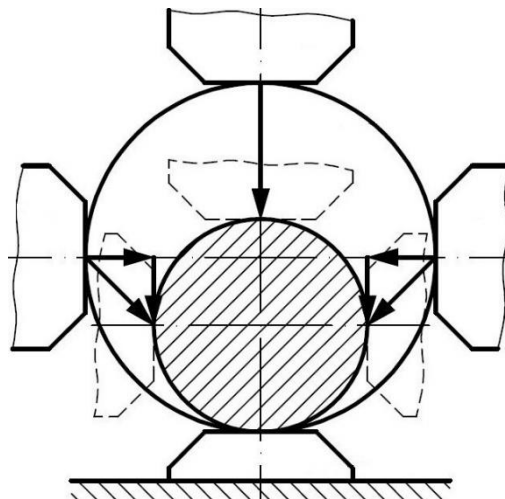
Primárně dochází ke zvýšení produktivity. Vznik převážně tlakového napětí stejně jako u radiálních kovacíh strojů dovoluje tvářet širokou škálu materiálů včetně obtížně tvařitelných. Deformování výkovku ze čtyř stran v něm generuje více tepla než při použití dvou kovadel. Většinou tak není zapotřebí dodatečných ohřevů zvyšujících spotřebu energie, času a způsobujících materiálové ztráty vlivem okujení. Rozměrová přesnost do velké míry závisí na přesnosti konkrétního lisu. S použitím speciálních rovných nebo konkávních dokončovacích kovadel je možné dosáhnout rozměrových tolerancí  $\pm 0,8 - 2$  mm v závislosti na velikosti průřezu. Konkávní nástroje zvyšují produktivitu dokončovacího procesu přibližně dvakrát. [12]



Obrázek 4-15: Změna teploty tvářeného kusu při jednotlivých úderech [13]

Jak již bylo zmíněno, na rozdíl od radiálních kovacíh strojů konají dvě boční kovadla složený pohyb. Vůči výkovku se pohybují jak radiálně, tak tangenciálně v důsledku fixní

polohy spodního těla. Horní tělo tak v radiálním směru překonává dvojnásobnou vzdálenost oproti bočním klínům s kovadly. Popsaný děj vyvolává ve výkovku doplňkové smykové deformace. Dochází tak k lepšímu přetvoření materiálu v celém průřezu výkovku oproti radiálním kovací strojům. Hrubá lící struktura je odstraněna včetně pórů, což výrazně zlepšuje mechanické vlastnosti. [13]



Obrázek 4-16: Schéma redukce kruhového průřezu zařízením pro kování ze čtyř stran [13]

#### 4.2.3 Manipulace s výkovkem a dosažitelné tvary

Polotovary se do zařízení vkládají pomocí manipulátoru, který dále vykonává rotační a posuvný pohyb s výkovkem. Pro dlouhé výkovky se používají manipulátory na obou stranách. Stejně tak se s druhým manipulátorem můžeme setkat při začlenění zařízení do automatizovaných celků. Automatizace však není tak častá jako u radiálních kovacích strojů.

Zařízení se používá převážně pro tváření výrobků kruhového průřezu. Dalšími běžně dosažitelnými průřezy jsou čtverce a pravidelné mnohoúhelníky se středem souměrnosti. Problém nastává například u obdélníkových průřezů. Na rozdíl od radiálních tvářecích strojů jsou pohyby jednotlivých kovadel vzájemně svázané a na sobě závislé. Kování plochých dílů lze dosáhnout například výškově stavitelným mechanismem pro protilehlá kovadla nebo podložením kovadel segmenty. S využitím trnu je možné vytvářet dutiny, které mohou být stejně jako vnější tvary stupňovité. [11]

#### 4.2.4 Dostupné modely

Společnost OAO Tyazhpresmash nabízí zařízení v několika řadách pro zatížení v rozsahu 2 až 150 MN. Jednotlivé řady popisuje tabulka 4-1. Rozměrové parametry platí pro tváření středně legovaných ocelí. Tabulkové hodnoty je třeba brát spíše orientačně. Ke každému zařízení se totiž většinou přistupuje individuálně podle požadavků zákazníka. Ty se odvíjejí od typu použitého lisu, tvaru a rozměru vyráběných dílů, tvářeného materiálu a dalších provozních podmínek. Jedná se v podstatě o kusovou výrobu. Na světě je v provozu pouze kolem tří desítek těchto zařízení. [11]

**Tabulka 4-1: Technické specifikace a modely radiálních kovacíh zařízení [12]**

Model	FD 5	FD 8	FD 10	FD 12,5	FD 16	FD 20	FD 30	FD 40	FD 50	FD 60	FD 80	FD 100	FD 120
Jmen. síla lisu [MN]	5	8	10	12,5	16	20	30	40	50	60	80	100	120
Max. rozměr průřezu ingotu [mm]	300	450	500	600	800	950	1150	1400	1500	1600	1800	2000	2300
Min. rozměr průřezu výrobku [mm]	70	80	100	120	150	180	230	300	320	340	360	380	400



## 5 Specifikace požadavků

Stanovení požadovaných specifikací doplňujících zadání práce je naprosto stěžejní úkon. Musí být provedeno ještě před samotným začátkem návrhu variant řešení. Jedná se o soubor vlastností a požadavků kladených na výsledný návrh. Tyto požadavky a vlastnosti utvářejí hranice myšlenek a nápadů konstruktéra a pomáhají mu při hlavních rozhodnutích ke správnému směřování návrhu. Pomocí těchto předem definovaných kritérií lze pak ohodnotit jednotlivé varianty řešení. Podle hodnocení pak může být snadno vybrána suboptimální varianta, která nejlépe splňuje dané požadavky. Požadavky jsou v práci rozděleny na nutné a vedlejší. Nutné zaručují, že bude zařízení za daných podmínek vůbec schopné provozu, a dále obsahují zásadní vlastnosti stanovené zadavatelem. Vedlejší požadavky by měly být brány v potaz. Jejich splnění je vhodné, ne však nezbytně nutné.

### 5.1 Popis pracoviště

Kovárna zaujímá část metalurgické haly společnosti COMTES FHT. Jejím dominantním prvkem je hydraulický kovací lis, ke kterému přísluší řada dalšího vybavení. Po jeho levé straně stojí dvě elektrické topné pece pro ohřev materiálu. Manipulace s výkovky probíhá v závislosti na jejich velikosti ručně, pomocí mostového jeřábu nebo kovacím manipulátorem. Vzhledem k umístění lisu k jedné ze stěn haly se primárně počítá s "letným" upnutím výkovku a manipulací z přední části lisu.

#### 5.1.1 Hydraulický kovací lis

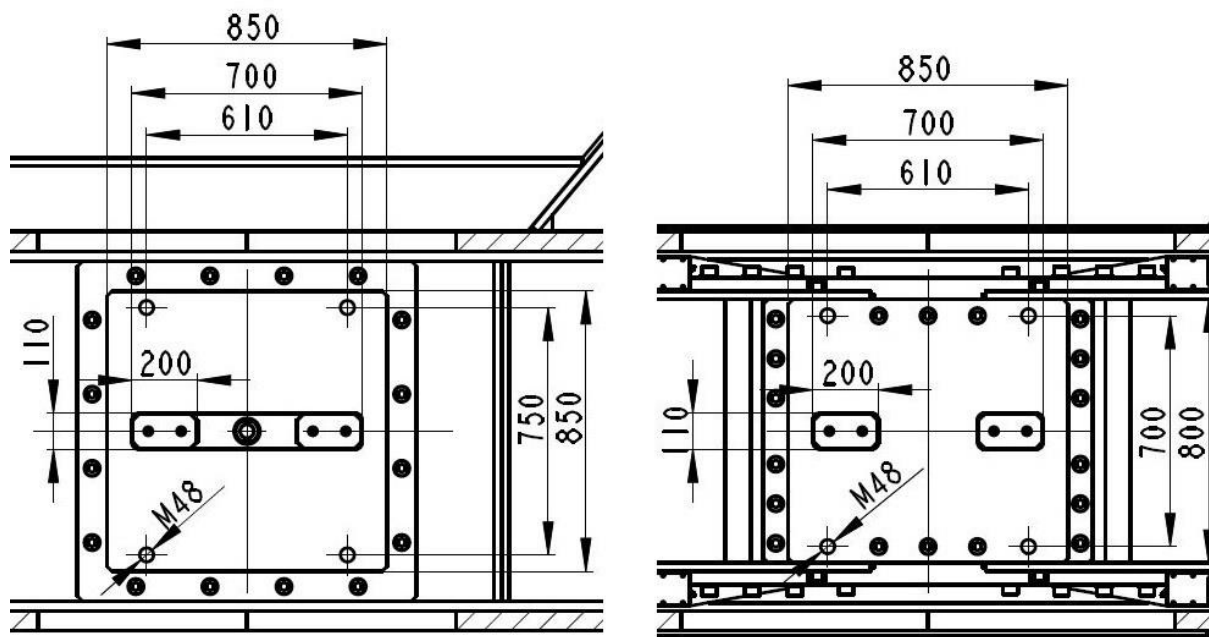
Navrhovaný přípravek bude poháněn zmiňovaným hydraulickým kovacím lisem. Před počátkem návrhu je nutné se s daným strojem seznámit, zjistit si jeho parametry, základní rozměry a další klíčové vlastnosti. Vhodným využitím těchto vlastností může při návrhu přípravku dojít ke zjednodušení konstrukce, redukci materiálu, a tedy i snížení výrobních nákladů.



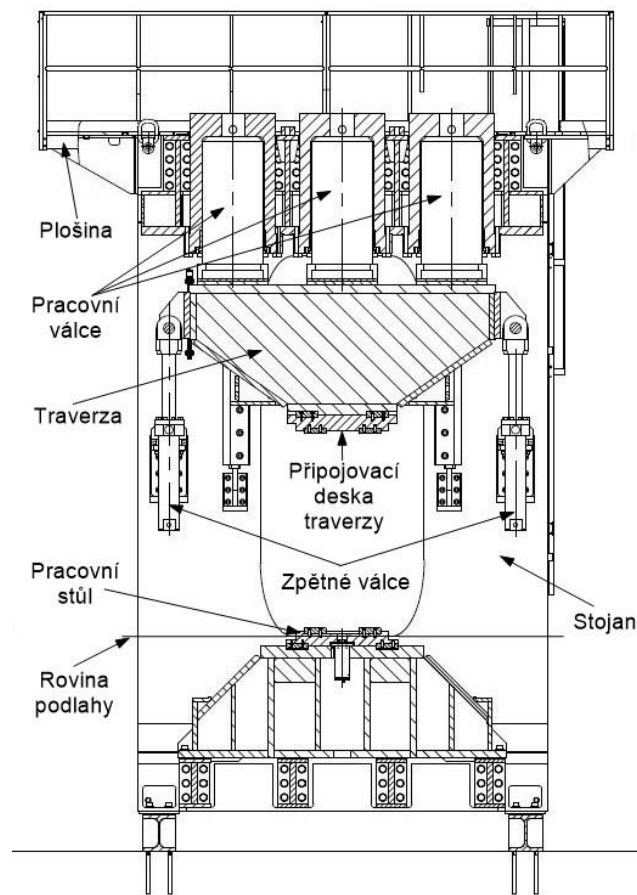
Obrázek 5-1: Hydraulický kovací lis společnosti COMTES FHT

Hydraulický lis je zakázkové výroby a nabízí možnost univerzálního použití. Lis využívá vertikální konstrukce stojanového rámu s horním pohonem. Pohon se skládá ze tří plunžrových hydromotorů generujících totožné síly. Součet sil definuje jmenovitou sílu stroje 25 MN, tedy přibližně 2500 tun. O reverzní pohyb beranu se starají dva zpětné válce umístěné po stranách rámu. Univerzalita lisu umožňuje realizaci jak volného, tak zápustkového kování. K volnému kování lis předurčuje hlavně velká jmenovitá síla a zdvih dovolující tváření větších dílů, jako jsou třeba ingoty. Pro zápustkové kování zase lis nabízí poměrně rychlé posuvy, vysokou tuhost a přesné vedení zajišťující správné pozicování horní zápustky vůči spodní. Stroj je řízen numericky počítačovým softwarem.

Základními rozměry jsou výška nad podlahou 5715 mm, šířka rámu 3750 mm a hloubka lisu 2690 mm. Pro návrh přípravku mají však význam hlavně rozměry pracovního prostoru lisu, kam bude přípravek vkládán. Stojanová konstrukce rámu bohužel velikost tohoto prostoru značně omezuje. Maximální otevření lisu je 1830 mm, maximální hloubka pracovního prostoru 1050 mm a maximální šířka 1500 mm. Otvor v rámu se však v úrovni podlahy zužuje na hodnotu 1100 mm a je nutné s tímto omezením počítat. K dalším důležitým rozměrům patří velikosti přípojovacích prvků lisu k přípravku, kterými jsou pracovní stůl a deska beranu. Základní rozměry obou prvků znázorňuje obrázek 5-2. Spojení nástrojů s lisem probíhá přes dvě pera a čtyři šrouby M48.



Obrázek 5-2: Připojovací rozměry k lisu, vlevo - pracovní stůl, vpravo - deska traverzy [4]



Obrázek 5-3: Příčný řez lisem [4]

## 5.2 Kovací manipulátor

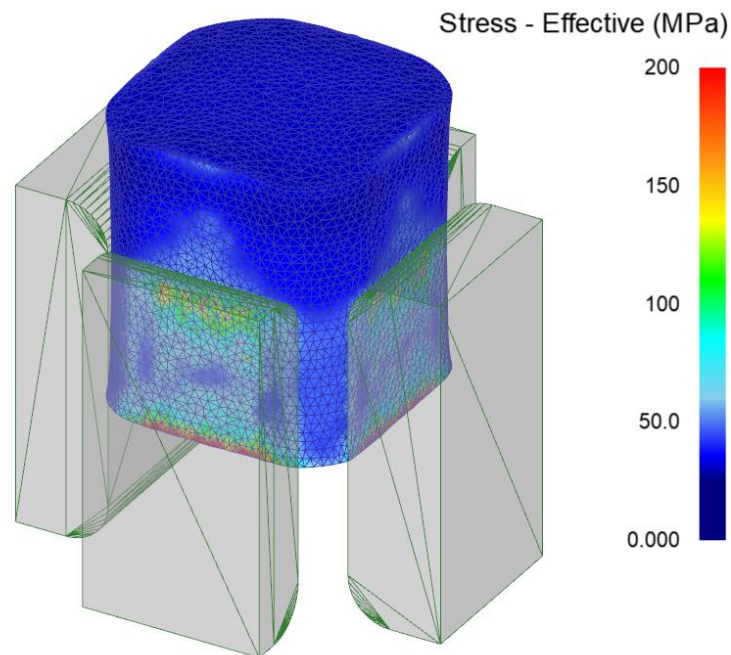
Při použití přípravku pro kování ze čtyř stran se primárně počítá s manipulováním s výkovky pomocí kovacího manipulátoru. Proto je při návrhu potřeba zohlednit jeho rozměry, pohyby, dosah a další parametry. Jedná se o kolový kovací manipulátor značky DANGO & DIENENTHAL. Model MSM 12 disponuje maximální nosností 1000 kg a je ovládán manuálně obsluhou. Kleště manipulátoru dokážou uchopit polotovary v rozmezí 40 - 415 mm. Maximální šířka kleští je přibližně 800 mm. S výkovkem se dá manipulovat následujícími pohyby: rotace kolem osy, posuv ve vertikálním směru, naklápění v horizontální rovině v rozmezí  $-16,5^\circ \div 28,5^\circ$ . Podélný posuv výkovku probíhá pojezdem celého manipulátoru.



Obrázek 5-4: Kleště kovacího manipulátoru

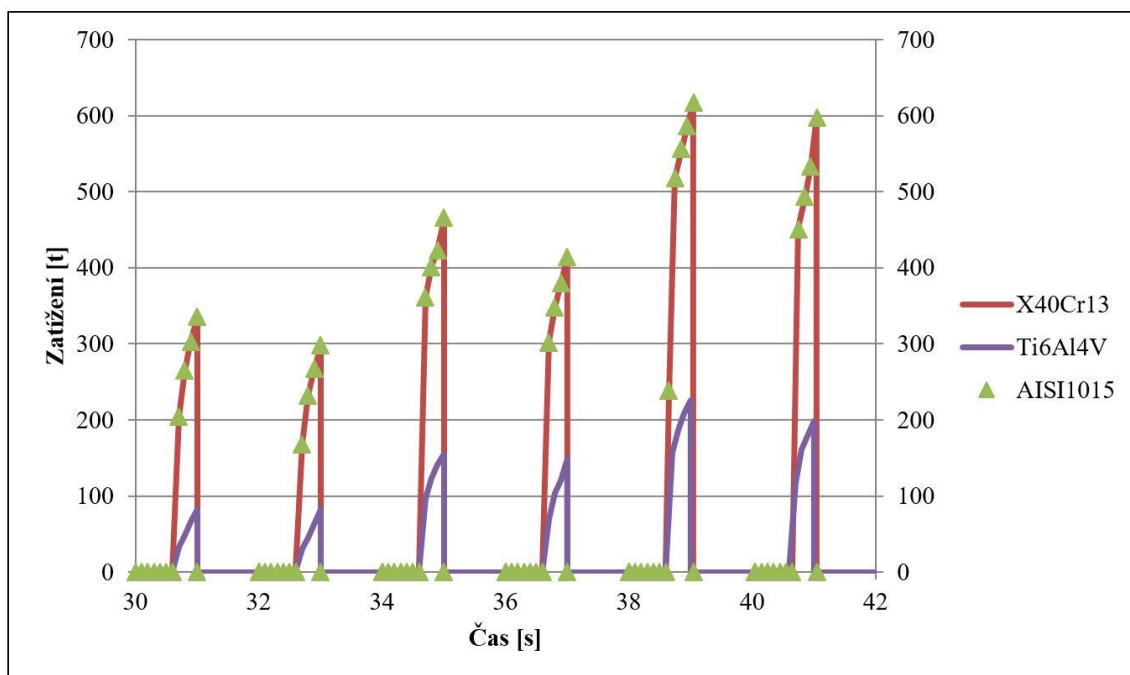
### 5.3 Stanovení zatížení přípravku a rozměrů kovadel

V praxi může dojít k maximálnímu možnému zatížení přípravku 25 MN, což odpovídá jmenovité síle hydraulického lisu. Vzhledem k rozměrům tvářených kusů a technologickým podmínkám je však možné, že maximální síly lisu nebude nikdy dosaženo nebo pouze ve výjimečných případech. Z tohoto důvodu byla provedena simulace pro zjištění velikosti zatížení, ke kterému bude ve většině případů docházet. Pro výpočet byl použit software DEFORM, vhodný zejména k simulování tvářecích procesů. V numerickém výpočtu byl použit polotovar s maximální požadovanou velikostí průřezu 350 mm, který obklopují čtyři symetricky rozmístěná kovadla viz obrázek 5-5.



**Obrázek 5-5: DEFORM simulace - rozložení napětí v tvářeném kuse**

Určení vhodné velikosti kovadel bylo rovněž předmětem simulace. Jejich rozměry byly pro zajištění správného toku materiálu stanoveny na hloubku 400 mm, šířku 200 mm a náběhový rádius 50 mm. Tvářený kus ve výchozím stavu zasahuje do poloviny hloubky kovadel, aby docházelo k požadovanému prodlužování materiálu. Simulace proběhla s použitím třech různých materiálů. Jedná se o ocel s označením AISI 1015 (jedna z nejběžnějších uhlíkových ocelí s ekvivalentem S235JR) a nerezovou ocel X40Cr13. Poslední materiál zastupuje slitina titanu s označením Ti6Al4V reprezentující obtížně tvařitelné materiály. Pro všechny materiály byla nastavena totožná výchozí teplota 1100 °C, úběry 50 mm provedené za 1 sekundu i stejná sekvence úderů. Výsledky ukázaly, že zatížení na jednotlivých kovadlech jsou prakticky totožná. Jejich konkrétní hodnoty představuje graf na obrázku 5-6. Hodnoty pro materiál AISI 1015 reprezentují pro přehlednost pouze body, jelikož splývají s hodnotami materiálu X40Cr13. Z výsledků vyplývá, že největší potřebné zatížení jednoho kovadla je 620 tun, což odpovídá přibližně 6,1 MN.



Obrázek 5-6: Graf znázorňující zatížení kovadel pro jednotlivé materiály

Jednotlivé součásti přípravku budou primárně navrhovány na zatěžování od zvolené výrobní technologie. To znamená, že se bude vycházet ze zatížení kovadel silou potřebnou pro dosažení požadované deformace tvářeného materiálu a nikoli ze zatížení silovými účinky lisu. Tento přístup zajišťuje návrh přípravku pro nejběžnější stavy zatěžování.

Jelikož se jedná o zařízení určené pro výzkumné účely, a ne pro sériovou výrobu, lze očekávat, že v mimořádných případech bude pro požadovanou deformaci výkovku zapotřebí zatížení vyšší. Například u jiných obtížně tvařitelných materiálů nebo při velkém zchladnutí tvářeného kusu. Může tak dojít až k úplnému využití kapacity hydraulického lisu a zatížení silou 25 MN. Přípravek musí zmíněnému zatížení pevnostně vyhovět. Vzhledem k předpokládané nízké frekvenci maximálního možného zatěžování nebude řešena únava materiálu a u koeficientu bezpečnosti k mezi kluzu stačí dosažení hodnoty jen lehce přes 1.

## 5.4 Shrnutí zadaných a specifikovaných požadavků

### 5.4.1 Požadavky nutné

#### Základní rozměry:

Maximální výška:	1700 mm (při úplném otevření přípravku)
Maximální šířka:	1400 mm (vespod zúžení na 1100)
Maximální hloubka:	1000 mm

#### Připojení k lisu:

Rozměry připojovací desky beranu:	850 x 800 mm
Rozměry pracovního stolu:	850 x 850 mm
Způsob připojení:	4 x šroub M48 + 2 pera

**Další parametry:**

Maximální možné zatížení lisem:	25 MN
Běžné zatížení technologií připadající na jedno kovadlo:	6,1 MN
Maximální rozměr průřezu ingotu:	350 mm
Minimální rozměr průřezu výkovku:	50 mm
Požadovaný zdvih přípravku:	100 - 200 mm

**5.4.2 Požadavky vedlejší**

Typ výroby za použití přípravku:	kusová - prototypová
Četnost používání:	několik dní v roce
Vyměnitelnost nástrojů:	snadná, rychlá

**Rozměry základní sady kovel (pro největší výkovky):**

Šířka:	200 mm
Hloubka:	400 mm
Náběhový rádius:	50 mm

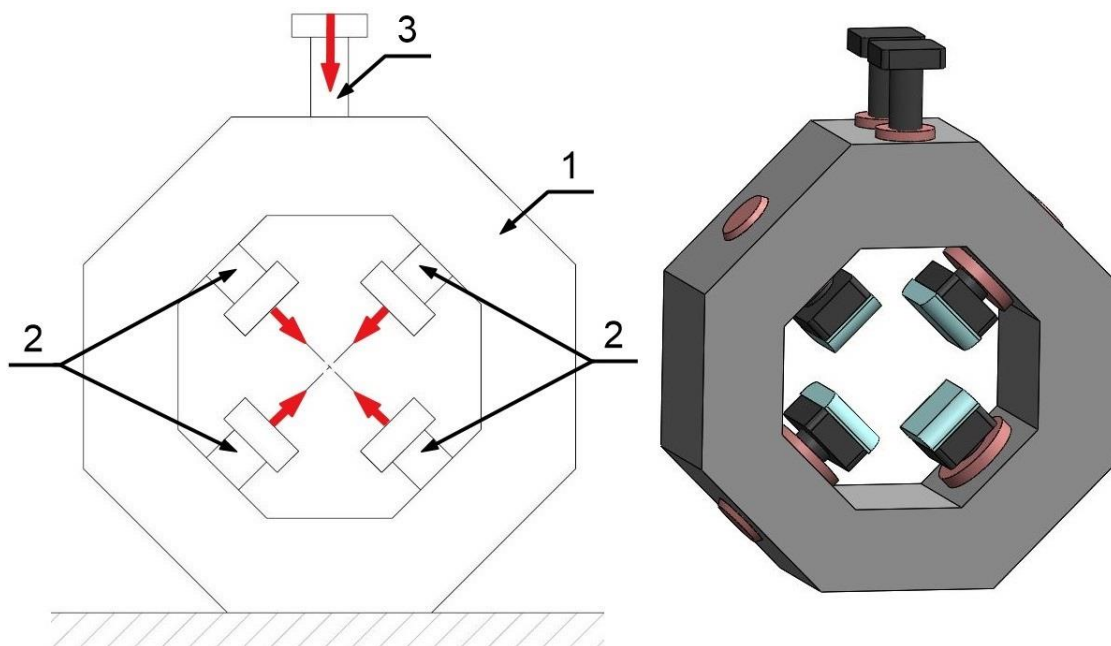
## 6 Návrh variant řešení přípravku pro kování ze čtyř stran:

Kapitola popisuje návrhy jednotlivých koncepčních variant přípravku. Celkem byly navrženy čtyři varianty založené buď čistě na hydraulickém principu, mechanickém principu, nebo na jejich kombinaci. Z důvodu poměrně malého pracovního prostoru lisu každý návrh doplňuje jednoduchý analytický výpočet pro stanovení přibližných rozměrů klíčových součástí, od kterých se pak odvíjí velikost celého přípravku. Na konci kapitoly je provedeno systematické hodnocení jednotlivých variant dle zásad EDS, z něhož vychází určení suboptimálního řešení.

Z důvodu odlišných principů přenosu zatížení na jednotlivá kovádla je použití již dříve uvedeného způsobu zatížení přípravku od výrobní technologie velice výhodné, ba dokonce nutné. Zejména u řešení s hydraulickými pohony, které dovolují multiplikaci síly. Všechny výpočty se odvíjejí od totožného zatížení všech kovádel silou 6,1 MN.

### 6.1 Varianta A

První varianta využívá k pohonu kovádel hydraulický systém. Hlavním prvkem přípravku je rám ve tvaru pravidelného osmiúhelníku napevno spojený s pracovním stolem lisu. V rámu jsou rovnoměrně rozmístěny čtyři lineární hydromotory nesoucí kovádla. Jejich uspořádání připomíná tvar písmene X. Zmíněné rozmístění pohonů zajišťuje větší kompaktnost přípravku. Tlak v hydraulickém okruhu generují hydraulické pumpy. Ty jsou umístěny v horní části rámu tak, aby mohly být stlačovány pohybujícím se beranem hydraulického lisu. Uložení pump v horní části rámu bylo dalším důvodem k použitému zarovnání pohonů. Hydraulický systém umožňuje velkou variabilitu pro navrhování zdvihů, sil a řízení čtveřice hydromotorů.



Obrázek 6-1: Znázornění varianty A, vlevo - kinematické schéma, vpravo - zjednodušený model, 1- rám, 2 - lineární hydromotory, 3 - hydraulické pumpy

#### 6.1.1 Určení základních rozměrů:

Pro získání základní představy o rozměrech této varianty bude proveden návrh hydraulických pohonů. Z jejich velikosti vycházejí rozměry rámu, a tedy i celého přípravku.



Maximální velikost provozního tlaku v hydraulickém obvodu přípravku byla stanovena na 32 MPa. Jedná se o běžně používanou hodnotu tlaku v hydraulických zařízeních, pro kterou jsou navrhovány i řady hydraulických těsnění. S použitím vyššího pracovního tlaku by sice došlo ke zmenšení průměru pístu, ale narostla by zase tloušťka stěny válce. Celkové rozměry hydromotoru by tak byly větší než při použití tlaku nižšího.

#### Návrh velikosti plunžru pracovního hydromotoru:

$$p = \frac{F_K}{S}, \text{ kde } S = \frac{\pi \cdot d_{p_{vyp}}^2}{4}$$

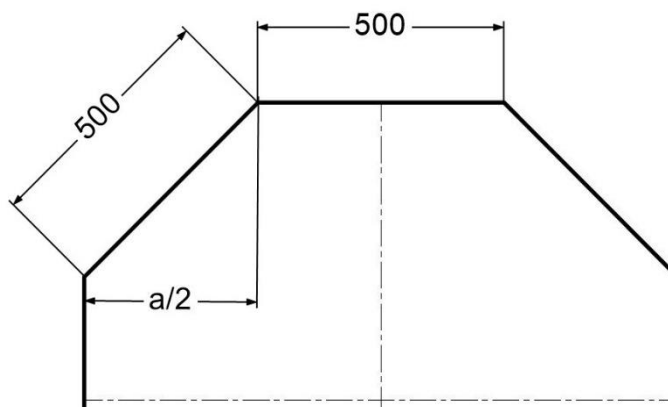
$$d_{p_{vyp}} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_K}{p \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6\,100\,000}{32 \cdot \pi}} = 492,7 \text{ mm}$$

kde:

- $p$  - provozní tlak [MPa]
- $F_K$  - zatížení kovádky [N]
- $S$  - činná plocha plunžru [mm<sup>2</sup>]
- $d_{p_{vyp}}$  - vypočtený průměr plunžru [mm]

S ohledem na dostupné rozměry těsnění byl stanoven skutečný průměr plunžru  $d_{p_{skut}} = 500$  mm. [25]

Dokonce i bez určení rozměrů hydraulických válců, které celkové rozměry pohonů ještě značně zvýší, je zřejmé, že umístění takového množství pohonů potřebných rozměrů do pracovního prostoru lisu by bylo velice složité.



Obrázek 6-2: Velikost pracovního prostoru přípravku varianty A

$$a = 500 \cdot \sqrt{2} = 707,1 \text{ mm}$$

Jen šířka pracovního prostoru přípravku bez zahrnutí hydraulických pump v horní části rámu by musela mít přes 700 mm. Z důvodu kompaktnosti by tlak v hydraulickém okruhu generovaly dvě pumpy. Vzhledem k maximálnímu otevření lisu by jejich zdvih mohl být nanejvýš dvojnásobný než u válců pracovních. Při zmíněném počtu pump to vede k použití plunžrů o stejném průměru jako u válců pracovních. Po započtení místa potřebného pro pumpy roste šířka vnitřního pracovního prostoru na hodnotu okolo 1200 mm viz obrázek 6-2. Stále však nejsou uvažovány rozměry hydraulických válců a rámu přípravku. S jejich zahrnutím by bylo dosažení celkové šířky přípravku 1400 mm velice obtížné, až nemožné.

### 6.1.2 Shrnutí

#### Klady:

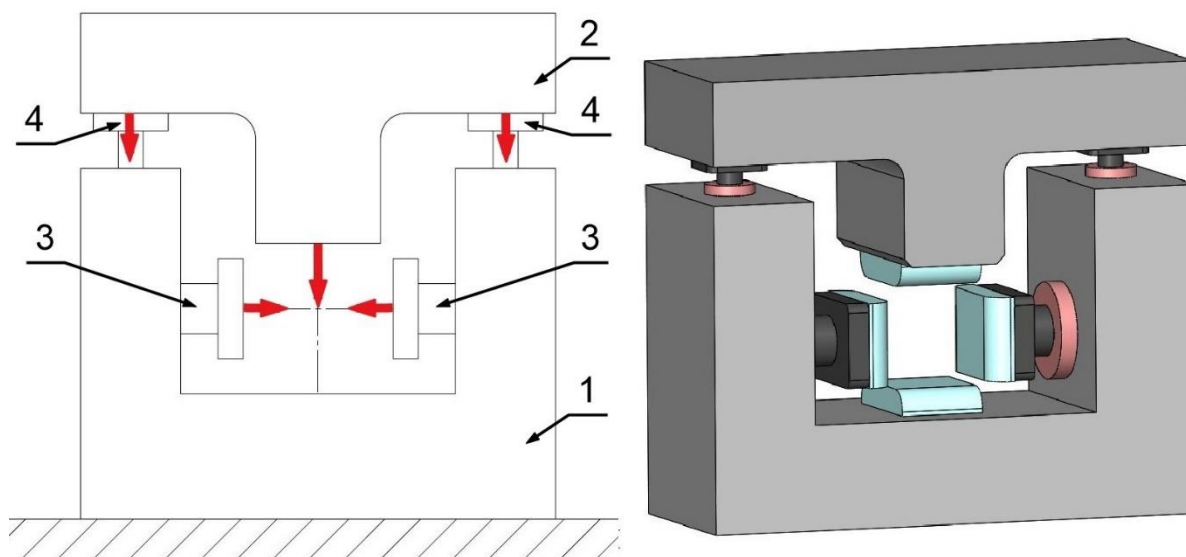
- Variabilita návrhu sil a zdvihů
- Vysoká účinnost
- Malé opotřebení nástrojů
- Tichý chod bez rázů

#### Zápory:

- Úniky hydraulické kapaliny
- Prostorová náročnost
- Vysoké výrobní náklady

## 6.2 Varianta B

Základ další koncepční varianty tvoří rám ve tvaru písmene U. Příčka rámu pevně spojeného se základem lisu nese spodní kovadlo, které zůstává ve fixní poloze. Samostatný pohyblivý příčník je včetně horního kovadla napevno připojený k beranu lisu. Boční kovadla se pohybují protiběžně v horizontálním směru. Ke svému pohonu používají lineární hydromotory uložené ve stojinách rámu. Tlak v hydraulickém okruhu vyvozují hydraulické pumpy umístěné taktéž ve stojinách rámu. Pumpy jsou stlačovány vertikálním pohybem horního příčníku. V průběhu tvářecího procesu dochází k relativnímu pohybu mezi výkovkem a bočními kovadly, který může způsobovat zvýšené opotřebení kovadel a nepříznivé namáhání vedení plunžrů hydraulických pohonů.



Obrázek 6-3: Znázornění varianty B, vlevo - kinematické schéma, vpravo - zjednodušený model, 1- rám, 2 - příčník, 3 - lineární hydromotory, 4 - hydraulické pumpy

### 6.2.1 Určení základních rozměrů

Určení základních rozměrů bude založeno opět na návrhu rozměrů hydraulických komponent. U hydraulického okruhu se počítá s použitím stejných parametrů jako u předchozí

varianty, a proto mohou využít již stanovené hodnoty průměru pracovního plunžru  $d_{p_{skut}} = 500$  mm. V tomto případě budou určeny i rozměry hydraulických válců.

### Návrh válce pracovního hydromotoru: [25]

Výpočet vychází z teorie silnostěnných nádob. Počítá se s uchycením hydraulických válců za přírubu. Pro určení redukovaného napětí ve stěně hydraulického válce je využito teorií HMM a Saint-Venant. Vnější průměr válce se dopočítává ke kritickému místu ve stěně válce, tedy k největšímu vnitřnímu průměru, který určují plunžrové ucpávky s vnějším průměrem 540 mm. Dovolené redukované napětí pro válec  $\sigma_{D_v}$  bylo stanoveno na 100 MPa.

$$\sigma_{red_{S.V.}} = \frac{p \cdot (0,4 + 1,3 \cdot \kappa_{S.V.}^2)}{\kappa_{S.V.}^2 - 1} \Rightarrow \kappa_{S.V.} = \sqrt{\frac{0,4 \cdot p + \sigma_{D_v}}{\sigma_{D_v} - 1,3 \cdot p}} = \sqrt{\frac{0,4 \cdot 32 + 100}{100 - 1,3 \cdot 32}} = 1,390$$

$$\kappa_{S.V.} = \frac{r_4}{r_3} = \frac{d_4}{d_3} \Rightarrow d_{4_{S.V.}} = \kappa_{S.V.} \cdot d_3 = 1,390 \cdot 540 = 750,5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{red_{HMM}} = \frac{p \cdot \sqrt{3} \cdot \kappa_{HMM}^2}{\kappa_{HMM}^2 - 1} \Rightarrow \kappa_{HMM} = \sqrt{\frac{\sigma_{D_v}}{\sigma_{D_v} - \sqrt{3} \cdot p}} = \sqrt{\frac{100}{100 - \sqrt{3} \cdot 32}} = 1,498$$

$$\kappa_{HMM} = \frac{d_4}{d_3} \Rightarrow d_{4_{HMM}} = \kappa_{HMM} \cdot d_3 = 1,498 \cdot 540 = 808,8 \text{ mm}$$

kde:

$d_3$  - největší vnitřní průměr válce [mm]

$\sigma_{red_{S.V.}}$  - redukované napětí ve stěně válce dle dané teorie [MPa]

$\kappa_{S.V.}$  - poměr vnějšího a vnitřního poloměru válce dle dané teorie [-]

$d_{4_{S.V.}}$  - velikost vnějšího průměru válce dle dané teorie [mm]

Výsledný vnější průměr hydraulického válce byl volen z hodnot ležících mezi  $d_{4_{S.V.}}$  a  $d_{4_{HMM}}$  a to  $d_4 = 780$  mm.

Skutečná síla pohonu:

$$F_{skut} = p \cdot \frac{\pi \cdot d_{p_{skut}}^2}{4} = 32 \cdot \frac{\pi \cdot 500^2}{4} = 6\,283\,185 \text{ N}$$

Minimální tloušťka stěny hydraulického válce:

$$s_v = \frac{d_{4_v} - d_{3_v}}{2} = \frac{780 - 540}{2} = 120 \text{ mm}$$

Malý průměr opření příruby válce:

$$d_5 = d_4 + 0,4 \cdot s_v + 32 = 780 + 0,4 \cdot 120 + 32 = 860 \text{ mm}$$

Výpočet vnějšího průměru příruby (kontrola na otláčení):

$$d_6 = \sqrt{\frac{F_{\text{skut}} \cdot 4}{\pi \cdot R_{\text{ot}}}} + d_5^2 = \sqrt{\frac{6\,283\,185 \cdot 4}{\pi \cdot 100}} + 860^2 = 905,3 \text{ mm} \Rightarrow \text{zvoleno } 920 \text{ mm}$$

kde:

$R_{\text{ot}}$  - dovolené tlakové namáhání traverzy [MPa]

Výpočty ukazují, jak velké by hydraulické pohony musely být. Jejich rozměry jsou vzhledem k maximální šířce přípravku 1000 mm hraniční. Z hlediska proporcí k ostatním částem není toto řešení příliš vhodné.

### 6.2.2 Shrnutí

#### Klady:

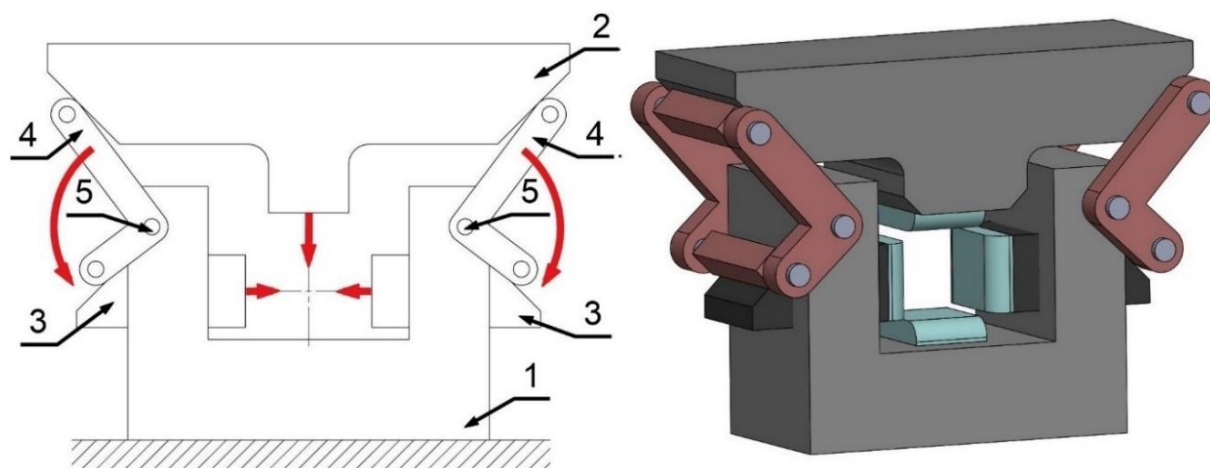
- Vysoká účinnost
- Tichý chod bez rázů

#### Zápory:

- Úniky hydraulické kapaliny
- Opotřebením bočních nástrojů vlivem relativního pohybu s výkovkem
- Prostorová náročnost

### 6.3 Varianta C

Třetí návrh reprezentuje přípravek založený na mechanickém principu. Řešení využívá do jisté míry obdobnou základní konstrukci jako varianta B. Základ tedy tvoří opět nepohyblivý rám ve tvaru písmene U nesoucí spodní kovadlo. Horní příčník je společně s horním kovadlem spojen s beranem lisu. Hlavní změna se odehrává v pohonu bočních kovadel. Příčník má z toho důvodu po stranách navíc šikmé plochy zkosené pod úhlem 45°. V obou stojinách rámu lisu jsou symetricky uloženy dva čepy a dva držáky bočních kovadel. Držáky se pohybují pouze v horizontálním směru a po vnějších stranách mají také plochy zkosené pod úhlem 45° tak, že se zkosenými plochami pohyblivého příčníku svírají pravý úhel. Čepy uloženy v rámu zajišťují rotační vazbu vahadel. Vahadla pravoúhlého tvaru přenášejí zatížení z pohyblivého příčníku na obě boční kovadla posuvnou vazbou přes skloněné plochy. Poměr délky ramen vahadla je 1:2, aby byl posuv bočních kovadel poloviční oproti pohybu horního příčníku. V průběhu tvářecího procesu dochází opět k většímu opotřebením kovadel vlivem tření s výkovkem.

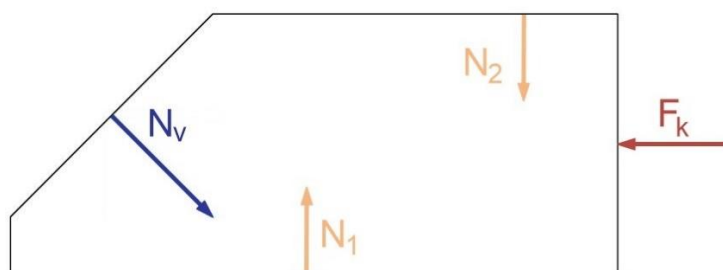


Obrázek 6-4: Znázornění varianty C, vlevo - kinematické schéma, vpravo - zjednodušený model, 1- rám, 2 - příčník, 3 - držáky bočních kovadel, 4 - vahadla, 5 - čepy vahadel

### 6.3.1 Určení základních rozměrů

Nejvíce namáhanými prvky sestavy jsou rozhodně čepy, vahadla a jejich uložení. Proto se analytický výpočet zaměřuje právě na tyto komponenty. Výpočet je z velké části řešen metodou uvolňování rovinné soustavy těles s uvažováním symetrie zatížení i tvaru konstrukce. Namáhání součástí se v závislosti na úhlu natočení vahadel lehce mění. Pro jednoduchost uvažujeme, že síly působící na ramena vahadel na ně budou vždy kolmé. Tření mezi jednotlivými částmi se zanedbává stejně jako tíhové síly. Podrobně jsou rozepsány pouze rovnice statické rovnováhy potřebné pro výpočet.

#### Uvolnění držáku bočního kovadla:



Obrázek 6-5: Silové účinky působící na uvolněný držák kovadla

$$\sum F_{ix} = 0 : N_v \cdot \sin(45) - F_k = 0$$

$$\sum F_{iy} = 0$$

$$\sum M_i = 0$$

---

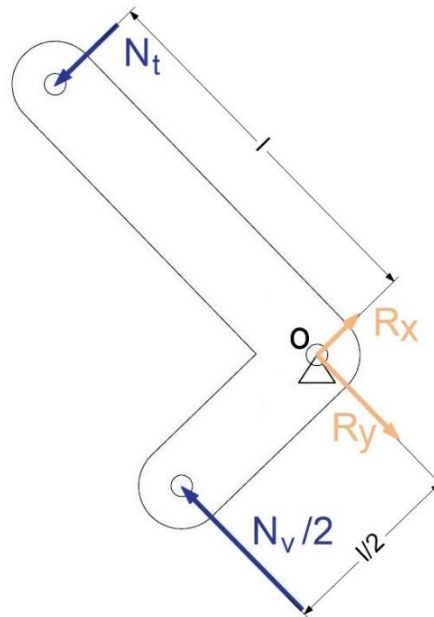

$$\sin(45) = \cos(45) = \frac{1}{\sqrt{2}}$$


---

$$\frac{N_v}{\sqrt{2}} - F_k = 0$$

$$N_v = F_k \cdot \sqrt{2} = 6,1 \cdot \sqrt{2} = 8,627 \text{ MN}$$

### Uvolnění vahadla:



Obrázek 6-6: Silové účinky působící na uvolněné vahadlo

$$\sum F_{ix} = 0 : R_x - N_t = 0$$

$$\sum F_{iy} = 0 : R_y - N_v/2 = 0$$

$$\sum M_i(o) = 0 : N_v/2 \cdot \frac{1}{2} - N_t \cdot 1 = 0$$

$$R_y = N_v/2 = 4,314 \text{ MN}$$

$$N_t = \frac{N_v/2}{2} = \frac{4,314}{2} = 2,157 \text{ MN}$$

$$R_x = N_t = 2,157 \text{ MN}$$

### Výsledná reakce v uložení vahadla:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{2,157^2 + 4,314^2} = 4,823 \text{ MN}$$

### Dimenzování hlavního čepu:

Dovolené smykové napětí  $\tau_D$  bylo stanoveno na 60 MPa.

Dimenzování z hlediska smykového namáhání:

$$d_{\check{c}min} = \sqrt{\frac{4 \cdot R}{\tau_D \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,823 \cdot 10^6}{60 \cdot \pi}} = 319,9 \text{ mm} \rightarrow \text{volím } 320 \text{ mm}$$

Čepy se obvykle kontrolují na namáhání ohybem a smykem. Pro jednoduchost byl nejprve navržen průměr čepu z hlediska smykového namáhání. Už z tohoto výpočtu je patrné, jak velikého průměru by čepy musely dosahovat. Při zahrnutí namáhání ohybem by se jejich průměr musel ještě zvětšit.

Šířka pracovního prostoru přípravku této koncepce se pohybuje přibližně mezi 400 a 500 mm. Rám by musel být v místech uložení čepů výrazně zesílen. Vahadla navíc přecházejí mimo rám, tudíž by bylo velmi obtížné vyhovět šířkovému parametru pracovního prostoru lisu.

### 6.3.2 Shrnutí

#### Klady:

Mechanický princip

#### Zápory:

Opotřebením bočních nástrojů vlivem relativního pohybu s výkovkem

Velké třecí ztráty mezi kluznými plochami

Prostorová náročnost (zejména šířka)

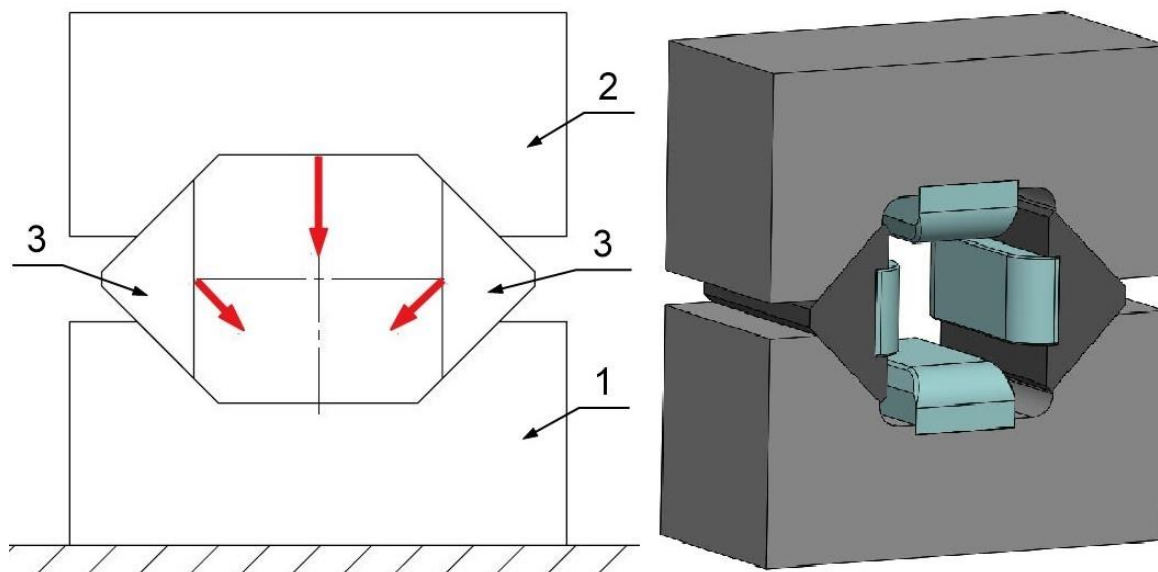
Vysoké namáhání vahadel a jejich uložení

Složitost řešení

Vysoké výrobní náklady

## 6.4 Varianta D

Poslední varianta využívá základní koncepce zařízení pro kování ze čtyř stran viz kapitola 4.2. Jedná se o čistě mechanické řešení využívající klíny pro přenos zatížení na boční kovadla. Pro připomenutí principu fungování - spodní tělo nese dolní kovadlo a oba díly zůstávají na místě pevně spojeny se základem lisu. Důležitými prvky spodního těla jsou dvě nakloněné roviny umístěné symetricky po stranách dílu. Roviny spolu svírají pravý úhel. Horní tělo obdobného tvaru, avšak opačně orientované, koná společně s upevněným kovadlem přímočarý pohyb závislý na pohybu beranu lisu. Mezi nakloněnými rovinami horního a spodního těla je po každé straně vložen jeden klín. Boční klíny mají totožný vrcholový úhel, jako mezi sebou svírají nakloněné roviny horního a spodního těla, tedy  $90^\circ$ , a nesou boční kovadla. Vertikální pohyb horního těla směrem dolů vyvolává protiběžný pohyb klínů v horizontálním směru. Zároveň se klíny pohybují ve svislém směru poloviční rychlostí horního těla vlivem fixní polohy spodního těla. K zasunutí bočních kovadel při zpětném pohybu horního těla musí být klíny s těly spojeny určitou vazbou. Její řešení však není součástí tohoto předběžného návrhu.



Obrázek 6-7: Znázornění varianty D, vlevo - kinematické schéma, vpravo - zjednodušený model, 1- spodní tělo, 2 - horní tělo, 3 - boční klíny

#### 6.4.1 Porovnání se stávajícím sortimentem:

Katalogová zařízení nabízená ruskou společností OAO Tyazhpressmash viz tabulka 4-1 nesplňují zadané požadavky. Modely vhodné pro požadované zatížení 25 MN jsou určeny pro naprosto jiné velikosti průřezů tvářených kusů. Nejmenší model (FDF 30), který je použitelný pro požadované zatížení nesplňuje parametr minimálního rozměru průřezu výkovku. Maximální rozměr průřezu výkovku nabízí naopak více jak trojnásobný oproti tomu, co požaduje zadavatel. S tím souvisejí i velké základní rozměry. Zařízení by se tak šířkou nevešlo do pracovního prostoru lisu. Modely navržené společností OAO Tyazhpressmash jsou totiž určeny pro hydraulické lisy na volné kování využívající sloupové konstrukce rámu. Tyto rámy mají velmi dobrou přístupnost a dostatečnou velikost pracovního prostoru. Nabízí se samozřejmě možnost zakázkové výroby u zmíněné společnosti. Vzhledem k značným odlišnostem od stávajících modelů lze však očekávat vysokou cenu při řešení takto specifické zakázky.

#### 6.4.2 Patentová kontrola

Přesné konstrukční řešení zařízení firmy OAO Tyazhpressmash není zcela známé. V případě podrobnějšího rozpracování této varianty by došlo k vlastním řešení jednotlivých konstrukčních uzlů a prvků přípravku. Základní koncept však zůstává stejný, a proto je nutné ověřit, zda tento princip není patentově chráněný.

Patent je druh právního dokumentu poskytující ochranu průmyslového vlastnictví. Udělují se na nové vynálezy, které mají průmyslové využití a jsou výsledkem vynálezecké činnosti. Krom výrobků lze patentovat například technologie, chemicky vyrobené látky, léčiva a jiné. Patenty jsou důležitým zdrojem informací. Platí po dobu dvaceti let na území příslušného patentového úřadu, kde došlo k jeho podání. Během této doby je nutné hradit udržovací poplatky, jinak patent zaniká. Zavedení a udržování platnosti patentů na mnoha územích tedy vyžaduje uvolnění nemalého množství finančních prostředků. [5]

Na zařízení pro kování ze čtyř stran vkládaných do pracovních prostorů lisů a s nimi související technologie se vztahuje celá řada patentů. Drtivá většina z nich však platí pouze na území Ruské federace, případně Ukrajiny. Jeden pak vchází v platnost pro Brazílii,

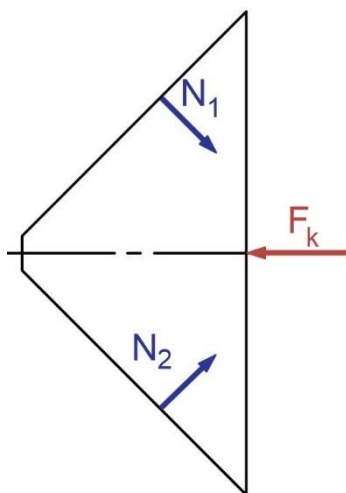


kde jedno z vyrobených zařízení stojí. Dále je výrobek chráněn americkým patentem pro Spojené státy americké a evropským patentem. Nás tedy bude zajímat pouze ten evropský. Evropské patenty mají obecně pro přihlašovatele zajistit snadnější, levnější a spolehlivější ochranu vynálezů. Řízení probíhá v jednom úředním jazyce, patent je jednotný a majitel ho může snadněji udržovat. Daný patent má v každém smluvním státě, pro který byl udělen, stejný účinek jako národní patent tohoto státu. Evropský patent však neplatí automaticky na všechny členské státy Evropské unie. O udělení může jeho majitel žádat pro jeden, několik nebo rovnou všechny smluvní státy. Majitel ale musí pro udělení patentu podat překlad patentového spisu v úředním jazyce státu, ve kterém žádá o jeho platnost. Roční udržovací poplatky se pak platí pro každý stát zvlášť. Podle registru evropských patentů i podle Úřadu průmyslového vlastnictví ČR patent s označením EP2540411 pro naše území nikdy nevešel v platnost. [7] [24]

### 6.4.3 Určení základních rozměrů

U většiny předešlých řešení docházelo velmi obtížně ke splnění požadavku pro maximální šířku přípravku definovanou pracovním prostorem lisu. Celková šířka se u této varianty odvíjí zejména od velikosti bočních klínů a šířky kovadel. Velikost klínů, která je potřebná pro přenos daného zatížení, závisí především na zdvihu přípravku a rozměrech styčné plochy mezi klíny a hlavními těly. Nejprve tedy bude určena normálová síla  $N$  působící mezi klínem a hlavním tělem. Z té vychází stanovení velikosti kontaktní plochy a následné určení celkových rozměrů klínu. Výpočet je opět z velké části řešen metodou uvolňování rovinné soustavy těles využívající symetričnost a zanedbávající tření.

#### Uvolnění bočního klínu:



Obrázek 6-8: Silové účinky působící na uvolněný klín

$$\sum F_{ix} = 0 : N_1 \cdot \cos(45^\circ) + N_2 \cdot \cos(45^\circ) - F_k = 0$$

$$\sum F_{iy} = 0 : N_2 \cdot \sin(45^\circ) - N_1 \cdot \sin(45^\circ) = 0$$

$$\sum M_i = 0$$

---


$$N_1 = N_2 = N$$

$$\frac{2 \cdot N}{\sqrt{2}} = F_k$$
$$N = \frac{F_k \cdot \sqrt{2}}{2} = \frac{6,1 \cdot \sqrt{2}}{2} = 4,313 \text{ MN}$$

### Stanovení velikosti kontaktní plochy klínu s hlavním tělem:

Pro výpočet byl stanoven dovolený měrný tlak  $p_d = 100 \text{ MPa}$  a počítá se s délkou klínu odpovídající hloubce kovadla, tedy  $l_k = 400 \text{ mm}$ .

$$p_d = \frac{N}{S_{k_{\min}}} = \frac{N}{l_k \cdot C_{\min}}$$
$$C_{\min} = \frac{N_k}{l_k \cdot p_d} = \frac{4,313 \cdot 10^6}{400 \cdot 100} = 107,8 \text{ mm} \rightarrow \text{volím } 120 \text{ mm}$$

kde:

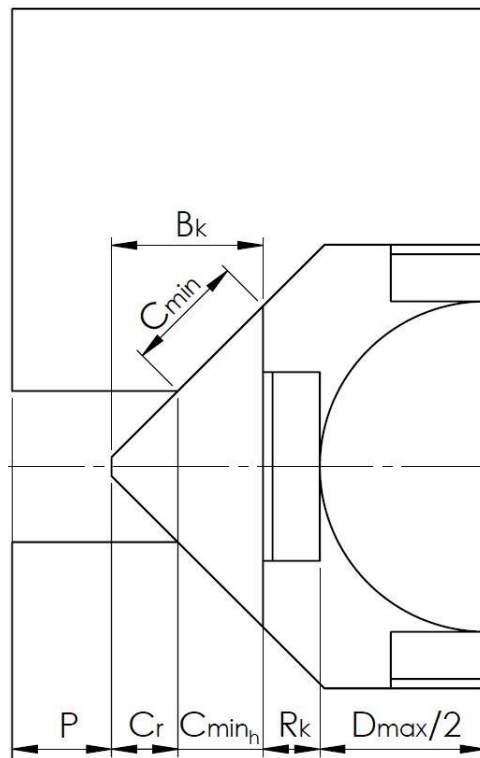
$S_{k_{\min}}$  - minimální velikost stykové plochy mezi klínem a hlavním tělem [ $\text{mm}^2$ ]

$C_{\min}$  - šířka minimální stykové plochy mezi klínem a hlavním tělem [ $\text{mm}$ ]

### Určení předběžné velikosti klínu a šířky celého přípravku:

Nejmenší kontaktní plocha mezi součástmi, určená předchozím výpočtem, vzniká při maximálním otevření přípravku. Jedná se o nejméně příznivé namáhání. Cílem je, aby se plocha při zavírání přípravku postupně zvětšovala. Proto budou zvětšeny i klíny. Přínosem je postupné snižování mechanického namáhání.

Celková šířka (výška) klínu  $B_k$  je dána součtem minimální šířky stykové plochy mezi klínem a hlavním tělem ve sklopení do horizontálního směru  $C_{\min_h}$  a šířkou  $C_r$  pro zvětšení kontaktní plochy při zavírání viz obrázek 6-9. Vzhledem ke kinematice přípravku můžeme za hodnotu  $C_r$  dosadit polovinu zdvihu, který zadavatel stanovil na 100 - 200 mm. Pro výpočet byl zvolen zdvih 150 mm, takže parametr  $C_r$  nabývá hodnoty 75 mm.



**Obrázek 6-9: Určení šířky přípravku**

Určení minimální šířky stykové plochy ve sklopení do horizontálního směru:

$$C_{\min_h} = \frac{C_{\min}}{\sqrt{2}} = \frac{120}{\sqrt{2}} = 84,8 \text{ mm}$$

Celková šířka klínu pak nabývá hodnoty:

$$B_k = C_{\min_h} + C_r = 84,8 + 75 = 159,5 \approx 160 \text{ mm}$$

Přibližná celková šířka přípravku pak může být určena vztahem:

$$B_c = D_{\max} + 2 \cdot R_k + 2 \cdot B_k + 2 \cdot P = 350 + 2 \cdot 50 + 2 \cdot 160 + 2 \cdot 100 = 970 \text{ mm}$$

kde:

- P - přesah hlavního těla přes klíny [mm]
- $D_{\max}$  - maximální průměr tvářeného polotovaru [mm]
- $R_k$  - velikost náběhového rádiusu kovádkla [mm]

Tato varianta vychází ze všech nejlépe z hlediska šířkového parametru celého přípravku. Požadovaný limit 1400 mm splňuje dokonce s výraznou rezervou.

#### 6.4.4 Shrnutí

##### Klady:

- Jednoduchost konstrukce
- Kompaktní rozměry
- Ověřený princip
- Lepší struktura tvářeného polotovaru (doplňkové smykové deformace)
- Malé opotřebení nástrojů
- Nižší výrobní náklady

##### Zápory:

- Značné tření mezi klíny a hlavními těly

#### 6.5 Hodnocení koncepčních variant

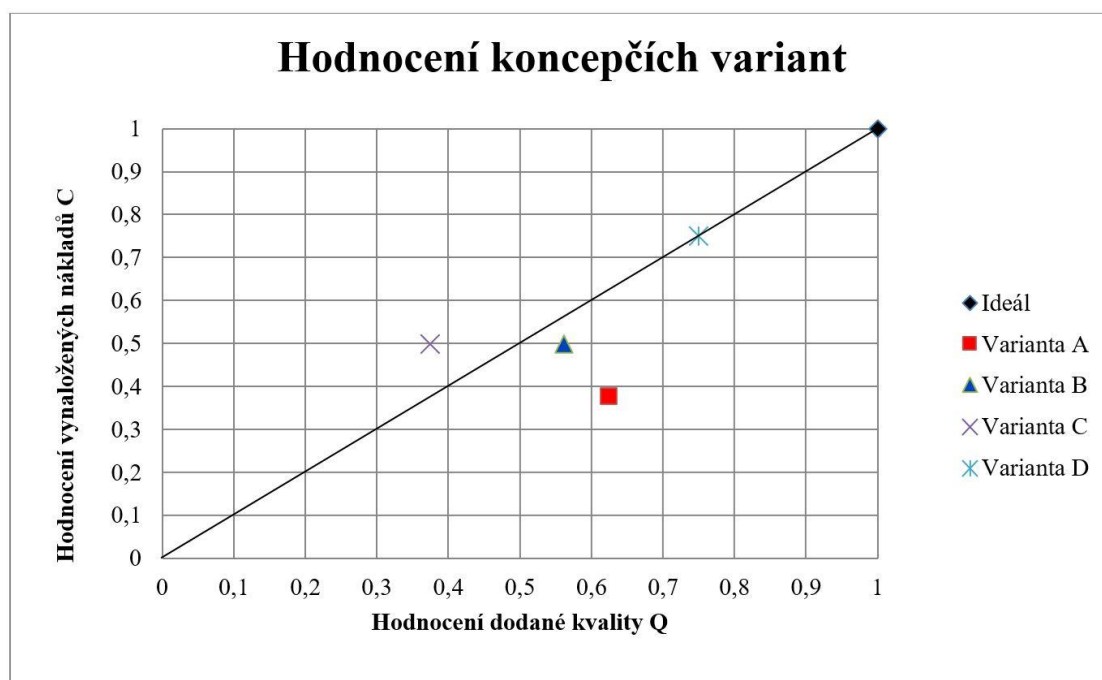
Struktura hodnocení se skládá ze stanovených kritérií, která se snaží komplexně charakterizovat daný přípravek. Kritéria byla rozdělena do oblastí kvality (Q) a nákladů (C). Oblast času (T) neobsahuje žádné vlastnosti z důvodů jejich obtížného posuzování. Následně jsem přikročil k hodnocení zvolených vlastností podle čtyřbodové stupnice:

Vyhovuje velmi dobře (ideálně)	4 body
Vyhovuje dobře	3 body
Vyhovuje uspokojivě	2 body
Vyhovuje postačujícím způsobem	1 bod
Vyhovuje nepostačujícím způsobem	0 bodů

Během hodnocení bylo přihlédnuto k možnostem výroby, jelikož si firma COMTES FHT dokáže některé díly vyrobit s využitím vlastních výrobních kapacit. Ze sečtených bodových hodnocení pro jednotlivé oblasti jsem spočetl normované hodnocení, které porovnává celkové hodnocení jednotlivých variant s ideálním stavem. Výsledky názorně zobrazuje digram konstrukční konkurenceschopnosti variant, který dává do souvislosti oblasti kvality a nákladů. Cílem hodnocení je výběr varianty, která se co nejvíce přibližuje ideálnímu stavu.

Tabulka 6-1 - Hodnocení variant

Varianta		A	B	C	D	Ideál
Kritéria kvality Q	Složitost řešení	2	2	1	3	4
	Zástavbový prostor	1	2	2	4	4
	Opotřebení nástrojů	4	1	1	3	4
	Účinnost	3	4	2	2	4
	<b>Celkový součet</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>16</b>
	<b>Normované hodnocení</b>	<b>0,625</b>	<b>0,5625</b>	<b>0,375</b>	<b>0,75</b>	<b>1</b>
Kritéria nákladů C	Náklady na výrobu	1	2	2	3	4
	Provozní a náklady	2	2	2	3	4
	<b>Celkový součet</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
	<b>Normované hodnocení</b>	<b>0,375</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,75</b>	<b>1</b>



Obrázek 6-10: Diagram vzájemné konstrukční konkurenceschopnosti variant

Z grafu vyplývá, že nejlepší vlastnosti z hlediska kvality a nákladů nabízí varianta D, jejíž hodnocení se nejvíce blíží ideálu v pravém horním rohu. Druhé místo z pohledu kvality obsadila varianta A, která má však ze všech nejhorší cenové náklady. Poměrně dobrou kvalitu za dobrou cenu vykazuje varianta B, za níž následuje varianta C s horší kvalitou při stejných nákladech. Podrobně rozpracovaný návrh vítězné varianty využívající k přenosu zatížení na boční kovádlu klíny popisuje následující kapitola.

## 7 Konstrukční návrh vybrané varianty

Výše uvedený koncept vítězné varianty D popisuje pouze základní princip fungování přípravku. Pro správnou funkci je nutné návrh rozpracovat mnohem více do hloubky. U hlavních částí budou nejprve navrženy chybějící základní rozměry. Následně budou řešeny jednotlivé konstrukční uzly a různé drobné tvarové úpravy komponent přípravku. Na závěr proběhne kontrola výsledného návrhu numerickým výpočtem založeným na metodě konečných prvků, který simuluje maximální možné zatížení a nejméně příznivé namáhání.

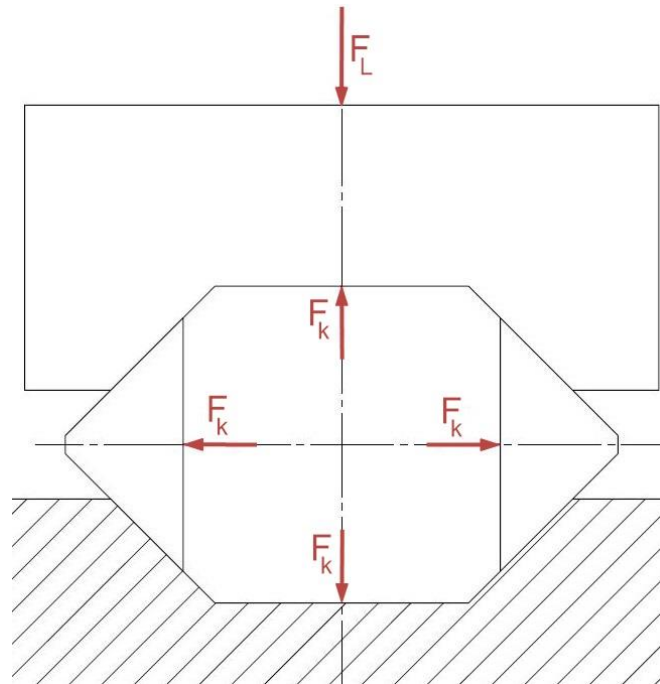
### 7.1 Základní dimenzování

Jak již bylo zmíněno, z hlediska měrného tlaku na styku klínů a hlavních těl vznikne největší namáhání při maximálním otevření přípravku. Dalším kriticky zatěžovaným místem hlavních těl je oblast přechodu skloněných stykových ploch pro klíny s uložením kovadel. Vzniká zde zejména ohybové namáhání vlivem působení normálových sil na skloněné plochy. Nejméně příznivé namáhání nastává rovněž při největším otevření, kdy síly působí na nejdelším rameni, jelikož jsou klíny nejvíce vysunuty. Přípravek je primárně navrhován pro zatížení technologií stanovené simulací v softwaru DEFORM, tedy 6,1 MN na každé kovadlo. Dále bude provedena kontrola v případě extrémního zatížení horního těla silou  $F_L = 25$  MN při využití celé kapacity lisu.

Vzhledem k velkému zatížení a kluznému uložení klínů bude docházet k poměrně značným třecím ztrátám. Proto dojde ke zpřesnění předběžného výpočtu zahrnutím vlivu třecích sil. Následně určím výšku průřezu v místě kritického namáhání hlavního těla.

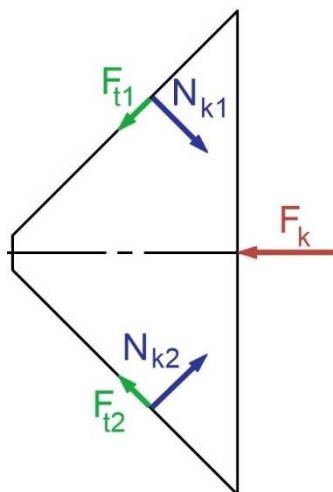
#### 7.1.1 Způsob řešení a předpoklady výpočtu

Pro lepší představu o namáhání přípravku a následné dimenzování bude proveden silový rozklad určující zatížení jednotlivých součástí. U obou hlavních těl uvažujeme shodnou geometrii i způsob zatěžování. Proto je spodní nepohyblivé tělo při silovém rozkladu pro zjednodušení považováno za základ a zabývat se budeme jen tělem horním. Úloha je zjednodušena na rovinnou a řešena metodou uvolňování. Výpočet tak nepostihuje vliv excentrického zatížení. Podrobně jsou rozepsány pouze rovnice statické rovnováhy nezbytné pro výpočet. Vzhledem k plastickému chování tvářeného kusu předpokládáme shodné zatížení všech kovadel. Koeficient tření mezi klíny a těly uvažujeme  $f = 0,2$  z důvodu očekávaného usazování nečistot na kluzných plochách. Přestože soustavu zatěžujeme silami o velikosti  $F_k = 6,1$  MN působícími na kovadla, počítáme, že se klíny vysouvají proti sobě směrem ke středu, čemuž odpovídá orientace třecích sil. Tíhové síly s ohledem k velikosti vnějšího zatížení zanedbáme.



Obrázek 7-1: Zjednodušené silové zatížení přípravku

### 7.1.2 Silové účinky působící na klín:



Obrázek 7-2: Silové účinky působící na uvolněný klín zahrnující tření

$$\sum F_{ix} = 0 : N_{k1} \cdot \cos(45^\circ) + N_{k2} \cdot \cos(45^\circ) - F_{t1} \cdot \cos(45^\circ) - F_{t2} \cdot \cos(45^\circ) - F_k = 0$$

$$\sum F_{iy} = 0 : N_{k2} \cdot \sin(45^\circ) + F_{t2} \cdot \sin(45^\circ) - N_{k1} \cdot \sin(45^\circ) - F_{t1} \cdot \sin(45^\circ) = 0$$

$$\sum M_i = 0$$

---


$$N_{k1} = N_{k2} = N_k$$

$$F_{t1} = F_{t2} = F_t = f \cdot N_k$$


---

$$\frac{2 \cdot N_k}{\sqrt{2}} - \frac{2 \cdot N_k \cdot f}{\sqrt{2}} - F_k = 0$$

$$N_k = \frac{F_k \cdot \sqrt{2}}{2 \cdot (1 - f)} = \frac{6,1 \cdot \sqrt{2}}{2 \cdot (1 - 0,2)} = 5,392 \text{ MN}$$

$$F_t = f \cdot N_k = 0,2 \cdot 5,392 = 1,078 \text{ MN}$$

### 7.1.3 Stanovení velikosti kontaktní plochy klínu s hlavním tělem

Zůstávají stejné vstupní parametry jako u předběžného výpočtu, tedy dovolený tlak  $p_d = 100 \text{ MPa}$  a délka klínu  $l_k = 400 \text{ mm}$ .

$$p_d = \frac{N_k}{S_k} = \frac{N_k}{l_k \cdot C_{\min}}$$

$$C = \frac{N_k}{l_k \cdot p_d} = \frac{5,392 \cdot 10^6}{400 \cdot 100} = 134,8 \text{ mm} \rightarrow \text{volím } 140 \text{ mm}$$

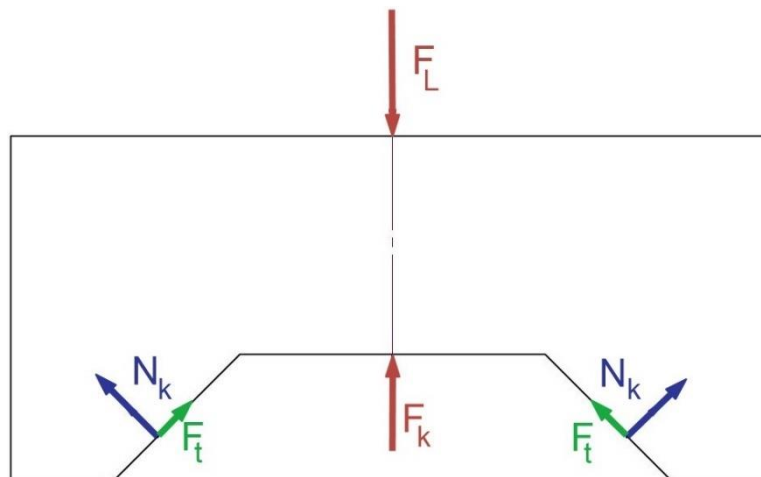
kde:

$S_k$  velikost stykové plochy mezi klínem a hlavním tělem zpřesněného návrhu [ $\text{mm}^2$ ]

$C$  šířka stykové plochy mezi klínem a hlavním tělem zpřesněného návrhu [ $\text{mm}$ ]

### 7.1.4 Výpočet výšky kriticky namáhaného průřezu hlavního těla

Pro lepší představu o zatížení hlavních těl si uvolníme horní tělo a zatížíme ho zjednodušenými silovými účinky.

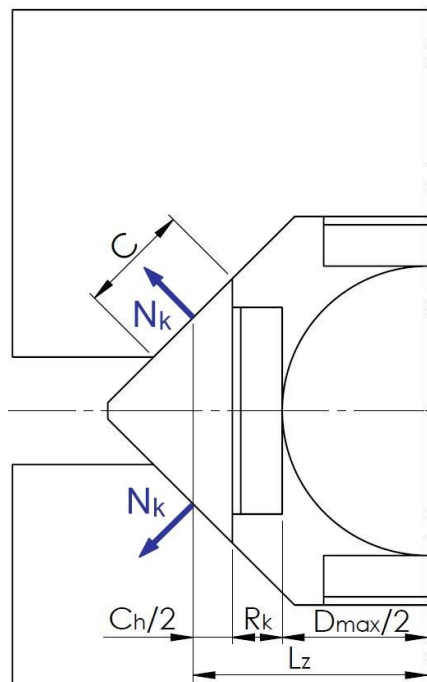


Obrázek 7-3: Silové účinky působící na uvolněné tělo

#### Určení působíště sil od klínů:

Na namáhání hlavních těl mají zásadní vliv zejména normálové síly působící od klínů určené předchozím výpočtem. Do výpočtu bude zahrnut i vliv třecích sil. Za působíště sil považujeme středy stykových ploch klínu a hlavního těla. Jejich určení vyplývá z obrázku 7-4.





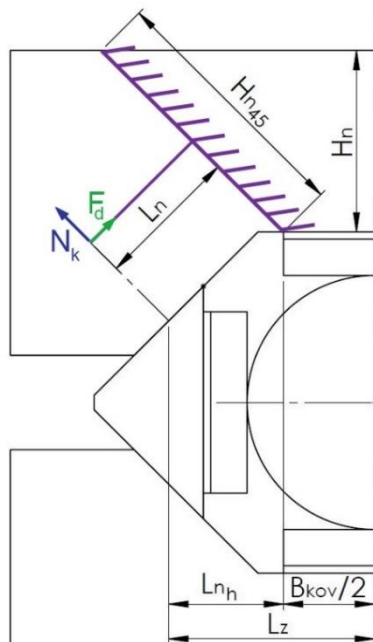
Obrázek 7-4: Určení působišť normálových sil od klínu

$$C_h / 2 = \frac{C}{2 \cdot \sqrt{2}} = \frac{140}{2 \cdot \sqrt{2}} = 49,5 \approx 50 \text{ mm}$$

$$L_z = C_h / 2 + R_k + D_{\max} / 2 = 50 + 50 + 175 = 275 \text{ mm}$$

#### Náhrada horního těla nosníkem:

Všechny provedené analytické výpočty nepostihují excentrické zatížení a slouží pouze k orientačnímu návrhu rozměrů. Proto bude hlavní tělo, s přihlédnutím k symetričnosti dílu a zatížení horního kovadla tlakem, nahrazeno pouze jednoduchým vetknutým nosníkem. Za místo vetknutí považujeme okraj kovadla. Nosník je orientován rovnoběžně s kontaktními plochami pro klíny. Jeho konec jsem zatížil normálovou a třecí silou a určil skloněnou výšku průřezu viz obrázek 7-5. Výšku jsem následně pro lepší aplikovatelnost výsledku překlopil do vertikálního směru.



Obrázek 7-5: Náhrada vetknutým nosníkem

#### Určení délky vetknutého nosníku:

$$L_n = L_{n_h} \cdot \sqrt{2} = (L_z - B_{kov}/2) \cdot \sqrt{2} = (275 - 100) \cdot \sqrt{2} = 247,5 \text{ mm}$$

kde:

$B_{kov}$  - polovina šířky kovádra [mm]

$L_{n_h}$  - délka nosníku ve sklopení do horizontálního směru [mm]

#### Výpočet výšky profilu nosníku:

Nosník zatížený třecí a normálovou silou od klínu je namáhán tlakem a ohybem. Dovolené napětí volím  $\sigma_{d_{tel}} = 100 \text{ MPa}$ . Vliv tlakového namáhání je vzhledem k velikostem zatížení v první fázi výpočtu zanedbán. Po stanovení výšky profilu je výsledek překontrolován se zahrnutím třecí síly.

$$\sigma_{d_{tel}} \leq \sigma_o = \frac{N_k \cdot L_n}{\frac{1}{6} \cdot I_{tel} \cdot H_{n45}^2}$$

$$H_{n45} \geq \sqrt{\frac{6 \cdot N_k \cdot L_n}{\sigma_{d_{tel}} \cdot I_{tel}}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 5,392 \cdot 10^6 \cdot 247,5}{100 \cdot 400}} = 445,3 \text{ mm}$$

$$H_n = \frac{H_{n45}}{\sqrt{2}} = \frac{445,3}{\sqrt{2}} = 314,9 \rightarrow \text{volím } 350 \text{ mm}$$

kde:

$l_{\text{tel}} = l_k$  - hloubka hlavního těla [mm]

$H_{n_{45}}$  - výška průřezu nosníku [mm]

$H_n$  - výška průřezu nosníku sklopená do vertikálního směru [mm]

### Kontrola namáhání při zahrnutí třecí síly:

Skutečná výška průřezu nosníku:

$$H_{n_{45} \text{ skut}} = 350 \cdot \sqrt{2} = 495 \text{ mm}$$

Kombinované namáhání nosníku:

$$\begin{aligned} \sigma_{d_{\text{tel}}} &\geq \sigma_t + \sigma_o = \frac{F_t}{l_{\text{tel}} \cdot H_{n_{45} \text{ skut}}} + \frac{N_k \cdot L_n}{\frac{1}{6} \cdot l_{\text{tel}} \cdot H_{n_{45} \text{ skut}}^2} = \\ &= \frac{1,078 \cdot 10^6}{400 \cdot 495} + \frac{6 \cdot 5,392 \cdot 10^6 \cdot 247,5}{400 \cdot 495^2} = 5,444 + 81,697 = 87,141 \text{ MPa} \leq \sigma_{d_{\text{tel}}} \\ &\rightarrow \text{vyhovuje} \end{aligned}$$

### 7.1.5 Namáhání při mezním stavu zatížení

S využitím již provedeného uvolnění horního těla a klínu mohu provést určení výstupních sil na kovádlech, normálové síly od klínu a třecí síly potřebné pro stanovení namáhání horního těla při maximálním zatížení silou  $F_L = 25 \text{ MN}$ .

### Rovnice statické rovnováhy pro horní tělo a určení jeho zatížení:

Rovnice vycházejí z provedeného uvolnění součásti viz obrázek 7-3.

$$\begin{aligned} \sum F_{ix} &= 0 \\ \sum F_{iy} &= 0 : F_k + 2 \cdot N_k \cdot \cos(45^\circ) + 2 \cdot F_t \cdot \sin(45^\circ) - F_L = 0 \\ \sum M_i &= 0 \end{aligned}$$

$$F_k + \frac{2 \cdot N_k}{\sqrt{2}} + \frac{2 \cdot N_k \cdot f}{\sqrt{2}} - F_L = 0$$

$$F_k + \frac{2 \cdot N_k \cdot (1 + f)}{\sqrt{2}} - F_L = 0$$

$$N_k = \frac{F_k \cdot \sqrt{2}}{2 \cdot (1 - f)} \text{ viz silové účinky působící na klín}$$

$$F_k + \frac{F_k \cdot (1 + f)}{(1 - f)} - F_L = 0$$

$$F_{k_{\text{max}}} = \frac{F_L \cdot (1 - f)}{2} = \frac{25 \cdot 10^6 \cdot (1 - 0,2)}{2} = 10 \text{ MN}$$

$$N_{k_{\max}} = \frac{F_k \cdot \sqrt{2}}{2 \cdot (1 - f)} = \frac{10 \cdot \sqrt{2}}{2 \cdot (1 - 0,2)} = 8,839 \text{ MN}$$

$$F_{t_{\max}} = f \cdot N_{k_{\max}} = 0,2 \cdot 8,839 = 1,768 \text{ MN}$$

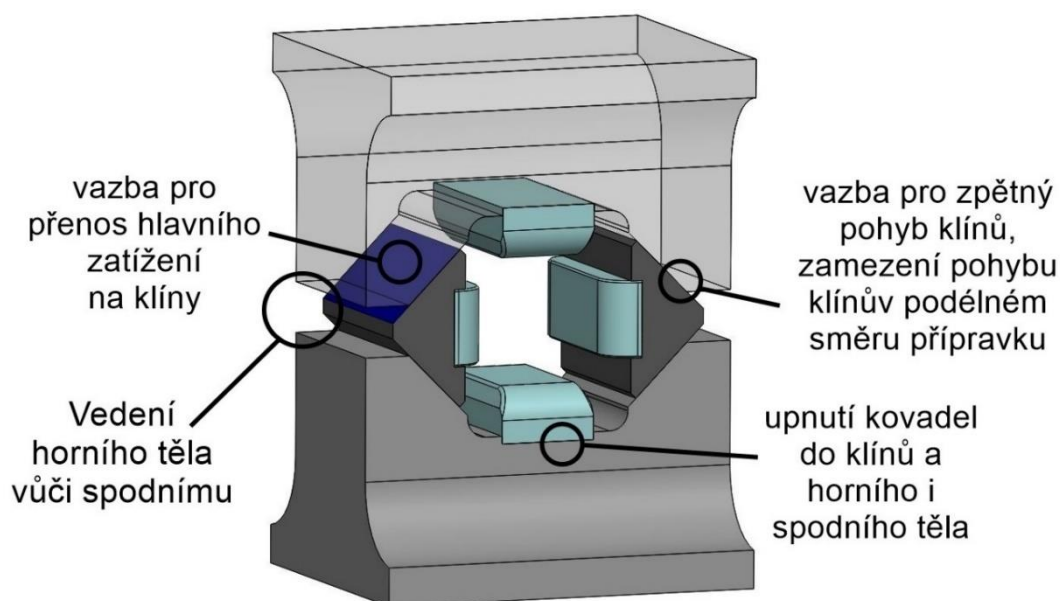
**Namáhání vetknutého nosníku při mezním stavu zatížení:**

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{nos}_{\max}} &= \sigma_{d_{\max}} + \sigma_{o_{\max}} = \frac{F_{t_{\max}}}{l_{\text{tel}} \cdot H_{n_{45 \text{ skut}}}} + \frac{N_{k_{\max}} \cdot L_n}{\frac{1}{6} \cdot l_{\text{tel}} \cdot H_{n_{45 \text{ skut}}}^2} = \\ &= \frac{1,768 \cdot 10^6}{400 \cdot 495} + \frac{6 \cdot 8,839 \cdot 10^6 \cdot 247,5}{400 \cdot 495^2} = 8,929 + 133,924 = 142,853 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Jak se dalo očekávat, namáhání překračuje stanovenou přípustnou hodnotu  $\sigma_{d_{\text{tel}}} = 100 \text{ MPa}$ . Napětí se však stále pohybuje v bezpečných hodnotách vzhledem k mezi kluzu většiny konstrukčních ocelí. S přihlédnutím k požadavkům uvedeným na konci podkapitoly 5.3 je tento předběžný návrh rozměrů považován za vyhovující.

## 7.2 Rozčlenění přípravku na jednotlivé části a konstrukční uzly

Pro systematičnost návrhu a snadnější orientaci v postupu bude přípravek krom jednotlivých částí rozdělen i na jednotlivé konstrukční uzly. Přestože tyto uzly a komponenty budou řešeny zvlášť, na přípravek musí být nahlíženo stále jako na celek, kde se vše navzájem propojuje. Výčet konstrukčních uzlů a s nimi související díly znázorňuje obrázek 7-6.

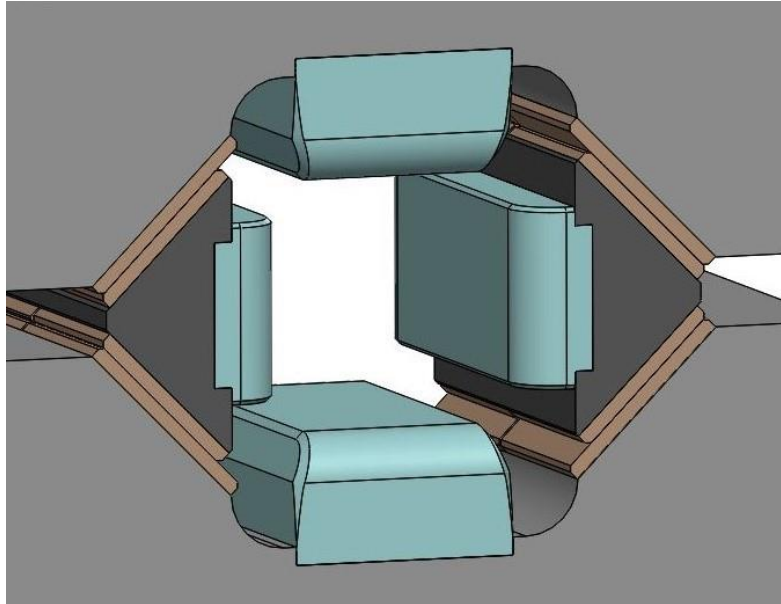


Obrázek 7-6: Výčet dále řešených konstrukčních uzlů

## 7.3 Vazba pro přenos hlavního zatížení na klíny

Nakloněné roviny obou hlavních těl a s nimi kontaktující boční plochy klínů patří mezi jedny z nejvíce namáhaných míst přípravku. Jednak přenáší hlavní zatížení na boční kovadla a zároveň zde dochází k vzájemnému pohybu. Kluzné plochy budou zejména ve spodní polovině přípravku vystaveny vlivu ulpívajících hrubých nečistot. Jedná se zejména o okuje, prach a další částice zvyšující opotřebení povrchů. Vazba tedy vyžaduje použití materiálů

s dobrými kluznými vlastnostmi, mechanickými vlastnostmi a odolností proti opotřebení. Proto jsem se rozhodl pro použití kluzných desek vložených mezi klíny a hlavní těla přípravku. Zmíněné řešení výrazně snižuje výrobní náklady, jelikož pro výrobu hlavních těl a klínů mohou být použity běžné konstrukční oceli. V případě dosažení hranice opotřebení lze desky snadno a poměrně levně vyměnit za nové.

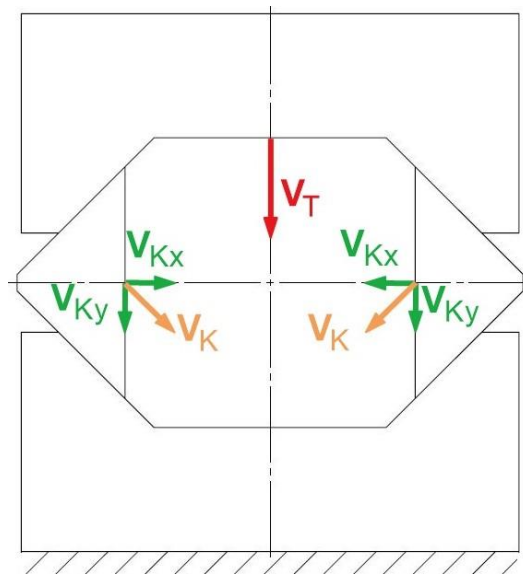


Obrázek 7-7: Vyměnitelné kluzné desky vložené mezi klíny a hlavní těla

### 7.3.1 Stanovení parametrů pro výběr vhodného materiálu

Volba správného materiálu se odvíjí zejména od velikosti měrného tlaku a kluzné rychlosti. Měrným tlakem uvažujeme již dříve stanovenou hodnotu  $p_d = 100$  MPa pro dovolené namáhání na stykových plochách klínu s hlavním tělem. Vektory rychlostí základních pohyblivých součástí přípravku znázorňuje obrázek 7-8. Horní tělo se pohybuje rychlostí totožnou s beranem lisu. Hodnota maximální rychlosti byla zvolena totožně s rychlostí použitou v simulaci v softwaru DEFORM, tedy  $v_{T_{\max}} = 50$  mm/s. Boční klíny se vzhledem ke kinematice přípravku pohybují ve vodorovném směru stejně jako ve směru svislém poloviční rychlostí horního těla.

$$v_{K_{\max}} = v_{K_X} \cdot \sqrt{2} = \frac{v_{T_{\max}}}{2} \cdot \sqrt{2} = \frac{50}{2} \cdot \sqrt{2} = 35,355 \text{ mm/s}$$



Obrázek 7-8: Vektory rychlostí základních pohyblivých součástí přípravku

### 7.3.2 Používané materiály

#### Bronzy:

Z důvodu mimořádně dobrých kluzných vlastností se jako vhodné řešení jeví použití desek z bronzu. Materiál nabízí příkladnou bezúdržbovost vzhledem k samomazným schopnostem. Díky absenci mazacího systému by navíc došlo ke zjednodušení konstrukce. Výrobou bronzových kluzných desek se zabývá například německý výrobce FIBRO. Součástí nabídky jsou i kluzné desky s vsazeným tuhým mazivem na bázi grafitu viz obrázek 7-9, které jsou určeny pro rychlosti do 0,5 m/s a tlak do 50 MPa. Dovolené zatížení je tedy poloviční oproti požadovanému. U dalších výrobců a jiných typů bronzů je situace podobná.



Obrázek 7-9: Kluzná deska z bronzu s vsazeným tuhým mazivem [9]

#### Kompozitní materiály:

Zajímavou alternativou k bronzům jsou kompozitní materiály. Vykazují taktěž dobré kluzné a samomazné vlastnosti. Například firma SKF má ve svém portfoliu kluzné pásy z POM kompozitu určené pro zatížení do 120 MPa, maximální kluznou rychlost 2,5 m/s a teploty až 110 °C. Problematická je zejména jejich mechanická odolnost. Na povrchu mají několik

speciálních vrstev s tloušťkou v řádech desetin milimetru. Odpadávající okuje a jiné nečistoty by tak mohly tenké vrstvy snadno poškodit a rapidně zkrátit životnost použitých pásů. [20]

#### **Oceli:**

Ocelové kalené desky nabízí výborné mechanické vlastnosti a vynikají odolností v abrazivním a nečistém prostředí. Materiál však vyžaduje použití mazacího systému. Uváděná maximální kluzná rychlost je 0,6 m/s a maximální měrný tlak více jak 150 MPa. Parametry dané aplikaci vyhovují. [17]

### **7.3.3 Výběr vhodného materiálu**

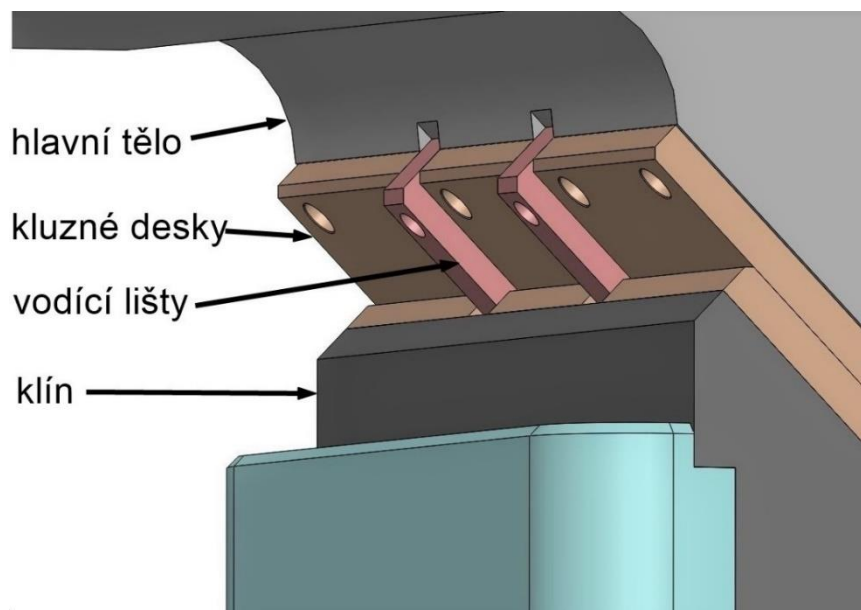
Desky z bronzu nevyhovují danému použití z hlediska maximálního měrného tlaku. Uvedený kompozitní materiál požadované parametry splňuje. Jeho aplikaci však znevýhodňuje relativně nízká teplotní odolnost stejně jako špatná odolnost proti hrubým nečistotám, která je vzhledem k náročnosti provozu zásadní. Z toho důvodu jsem se rozhodl pro použití ocelových kalených desek i přes nutnou přítomnost mazacího systému. Ten je podrobněji popsán v kapitole 7.7.

## **7.4 Zajištění klínů v axiálním směru**

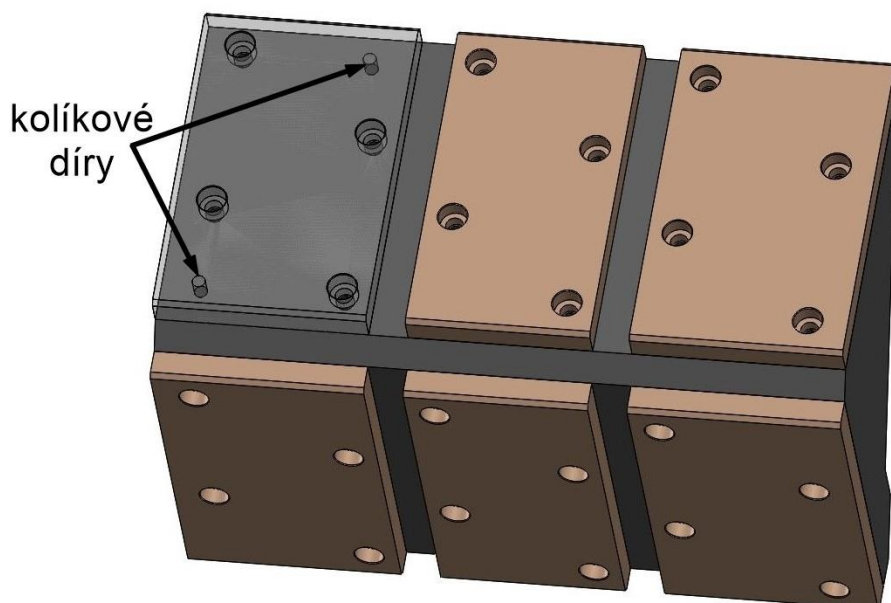
Při úběrech materiálu menších než délka výkovku, což je běžný stav, bude během tváření navíc docházet k silovému působení na klíny v axiálním směru (směr osy přípravku). Proto musí být v tomto směru zajištěny. Předběžná numerická simulace navíc ukázala, že vlivem excentrického zatížení mají klíny tendenci k naklápění, které je nutné eliminovat.

Problematiku jsem se rozhodl vyřešit použitím vodících lišt. Lišty jsou pevně uchyceny v drážkách hlavních těl pomocí šroubových spojů a rozdělují kluznou plochu na tři části. Přenos zatížení probíhá zejména přes boky drážek. Ke každé boční stěně klínu jsou opět šroubovými spoji uchyceny tři kluzné desky tak, aby mezi nimi vznikly mezery právě na šířku vodících lišt. Pro snadnější montáž a správný chod přípravku bude přenos zatížení probíhat pouze přes boky vnějších desek. Šířka prostředních desek je proto menší než rozteč lišt. Pro zaručení přesné polohy krajních desek probíhá jejich spojení s klínem navíc přes dva kolíky sloužící rovněž k přenosu zatížení. Uvedené řešení umožňuje opět jednoduchou a levnou výměnu opotřebovaných komponent.

Použité lišty dále zajišťují pozicování a vedení horního těla vůči spodnímu. Ve spojení s přesným vedením beranu ve stojanu, což je specialita použitého lisu, nebudou žádné další vodící prvky mezi hlavními těly potřebné.



Obrázek 7-10: Detail zajištění klínů lištami



Obrázek 7-11: Kluzné desky upevněné ke klínu

## 7.5 Zpětný pohyb klínů:

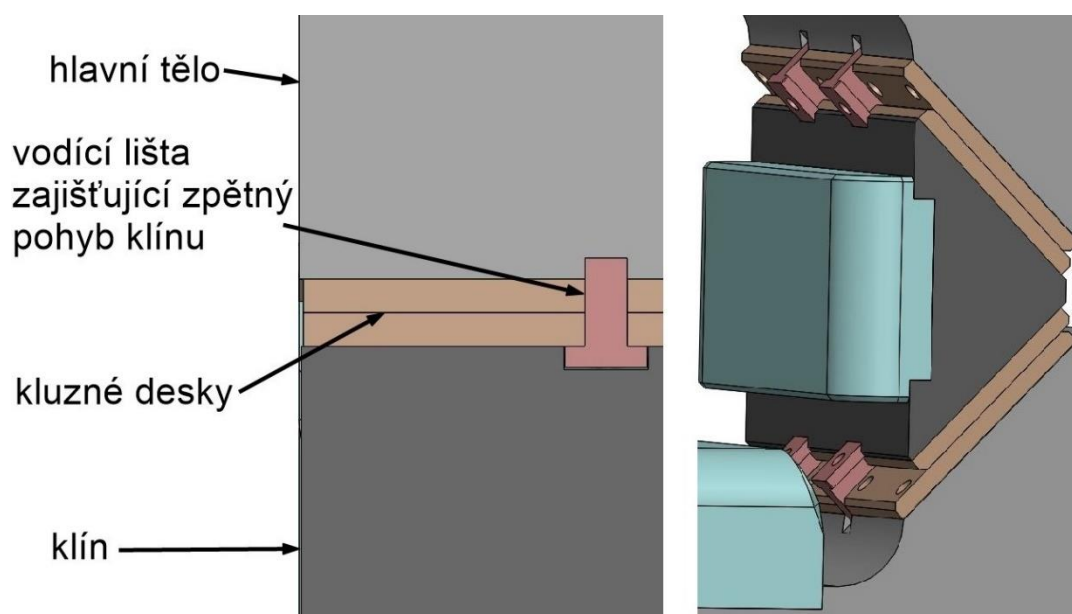
Pro návrat klínu do výchozí pozice musejí být klíny s horním a spodním tělem spojeny určitou kinematickou vazbou. Ta má rovněž zabránit vypadnutí klínů s kovádky v případě, kdy kovádkla nejsou v kontaktu s tvářeným kusem. Jako nejsnazší řešení se nabízí kluzná vazba založená na obdoboém principu, jako když jsou klíny vysouvány při pohybu horního těla směrem dolů. Během vratného pohybu však musí silové účinky mezi hlavními těly a klíny působit v opačném směru. Z tohoto důvodu budou klíny i hlavní těla opatřeny tvarovými prvky umožňující záběr při zpětném pohybu horního těla. Plochy prvků, přes které bude záběr probíhat, musejí být sklopené pod stejným úhlem ( $45^\circ$ ), jako boční stěny klínů.

Vazba se dá vyřešit mnoha způsoby. Obecně mohou být potřebné tvarové prvky umístěny vně nebo uvnitř přípravku. Níže jsou popsány tři varianty řešení.



### 7.5.1 Varianta D1A

První řešení pracuje s tvarovými prvky umístěnými uvnitř zařízení a využívá modifikovaných vodících lišt určených k axiálnímu zajištění klínů viz kapitola 7.4. Lišty zůstávají pevně uchyceny v drážkách hlavních těl. Jejich průřez je však upraven do tvaru písmene T. Boční stěny klínů pak obsahují vždy dvě drážky. Drážky se nacházejí v oblastech mezer mezi jednotlivými kluznými deskami spojenými s klínem. Kluzné desky přes tyto drážky částečně přesahují. Stále však mezi nimi zůstává mezera pro vodící lišty. Přesahující desky tak vytvářejí záběrové plochy pro "T" lišty způsobující zasunutí klínů při reverzním pohybu beranu lisu. Nastavení potřebné vůle by probíhalo změnou počtu plechových podložek mezi dnem drážky a vodícími lištami.



Obrázek 7-12: Využití vodících lišt pro zpětný pohyb klínů

#### Klady:

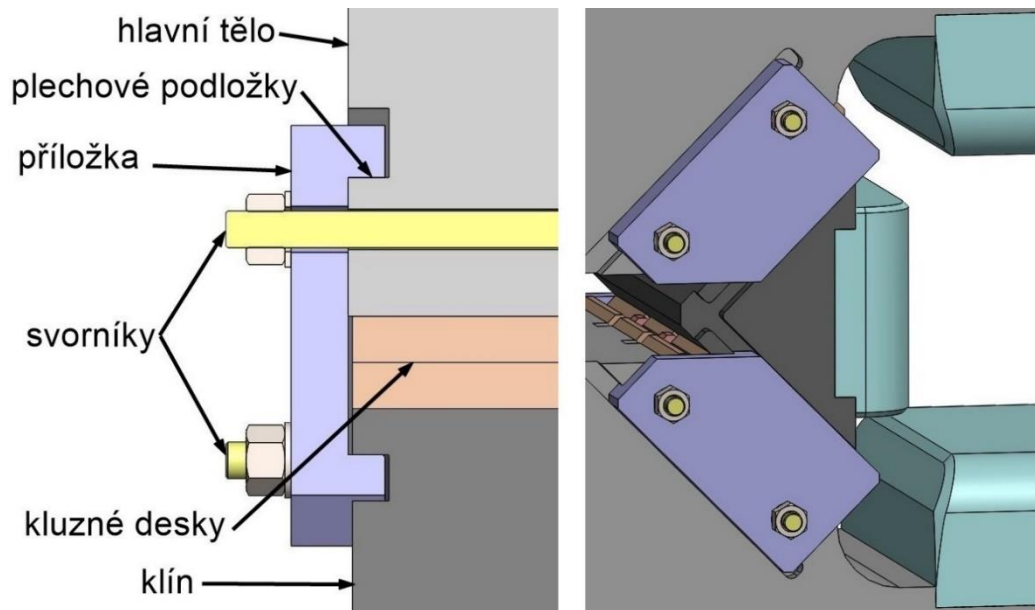
- Jednoduchá a levná výroba (v souvislosti s již použitými vodícími lištami)
- Simplifikace

#### Zápory:

- Složitá montáž celého přípravku
- Obtížné nastavení a vymezení vůlí

### 7.5.2 Varianta D1B

Tato varianta využívá k potřebnému záběru mezi hlavními těly a klíny sadu příložek. Příložky jsou přichyceny k předním a zadním plochám hlavních těl přípravku a jejich průřez má tvar písmene U. První z výběžků zapadá do drážky v hlavním těle. Přes bok drážky dochází jednak k přenosu hlavního zatížení a zároveň toto uložení zaručuje přesnou polohu obou součástí. Druhý výběžek pak zapadá do drážky v klínu, která je rovnoběžná s jeho boční stěnou. Řešení počítá buď s použitím kluzných segmentů na stykové ploše drážky s příložkou, nebo s materiálovou skladbou, kdy materiál příložky bude méně otěruvzdorný než u klínu. Vkládáním plechových podložek mezi stykové plochy příložky a drážky v hlavním těle by se nastavovala potřebná vůle.



Obrázek 7-13: Použití příložek pro zpětný pohyb klínu - varianta D1B

#### **Klady:**

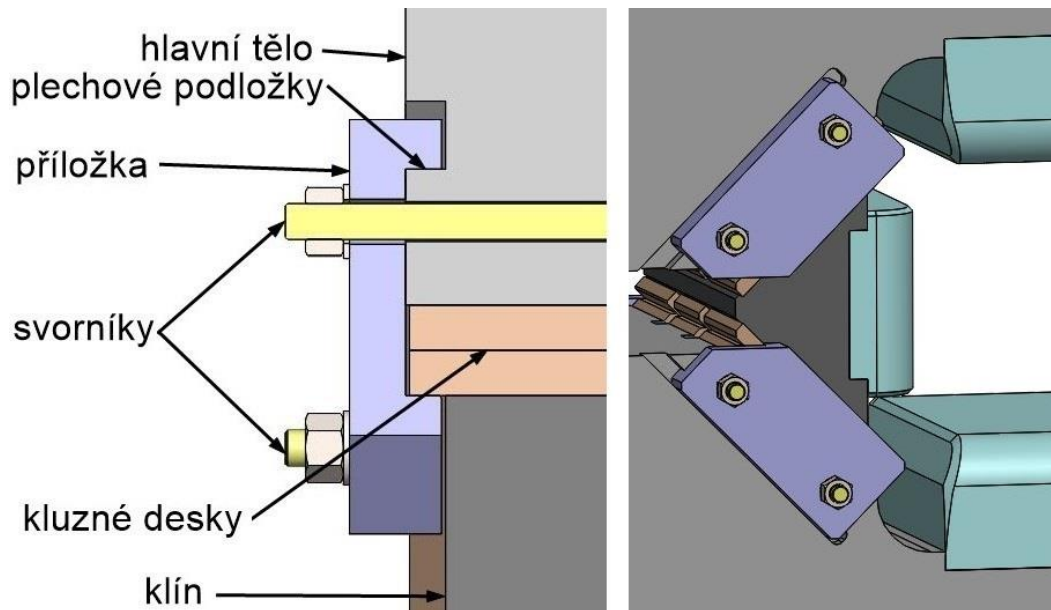
- Snadná montáž
- Dobrá přístupnost pro seřízení

#### **Zápory:**

- Vyšší cena
- Opotřebení ploch klínů

#### **7.5.3 Varianta D1C**

Poslední řešení se do velké míry podobá předchozí variantě. V tomto případě však kluzné desky přesahují přes okraje klínů. Hlavní rozdíl pak spočívá v tom, že záběr příložky probíhá přes zadní plochu kluzné desky přesahující přes klín. Zmíněné řešení je oproti předchozí variantě kompaktnější a snižuje množství potřebných obráběcích operací. Příložky jsou umístěny vždy v páru proti sobě na přední a zadní straně přípravku. Každý pár tak zabírá za desky umístěné na jedné z bočních stěn klínu. Celkem je použito 8 kusů příložek. Jednotlivé páry k sobě stahují 2 svorníky procházejícími skrz hlavní tělo.



Obrázek 7-14: Použití příložek pro zpětný pohyb klínu - varianta D1C

#### **Klady:**

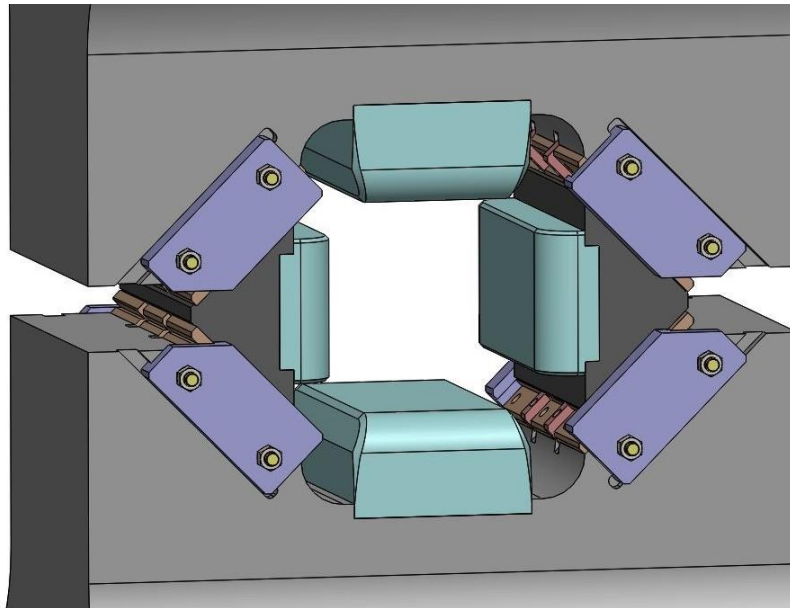
- Snadná montáž
- Dobrá přístupnost pro seřízení
- Kompaktnost oproti variantě D1B

#### **Zápory:**

- Vyšší cena

#### **7.5.4 Výběr výsledné varianty zajištění zpětného pohybu**

Při výběru výsledné varianty byl kladen důraz zejména na snadnou montáž, přístupnost pro servis a možnost jednoduchého nastavení potřebné vůle. Poměrně přesné seřízení vůle bude zcela zásadní pro správný chod přípravku. Malá vůle by mohla způsobovat přidírání a nadměrné opotřebení, velká zase rázy a přičení klínů. Vlivem opotřebení kluzných ploch bude navíc třeba vůli průběžně seřizovat. S přihlédnutím k těmto požadavkům byla jako výsledné řešení vybrána varianta D1C. Ta nabízí možnost snadného nastavení vůle a celkem slušné náklady na výrobu i provoz.



Obrázek 7-15: Výsledné řešení zpětného pohybu klínů

## 7.6 Upínání kovadel do přípravku

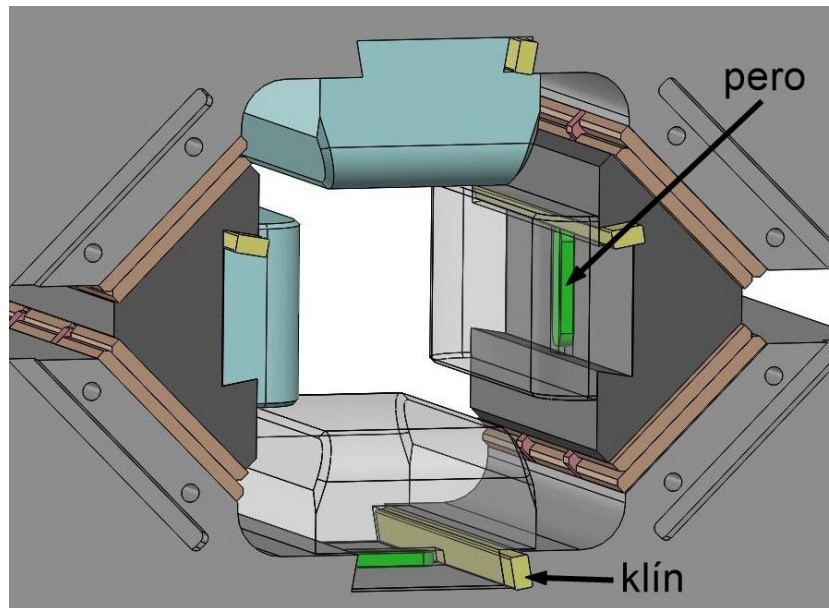
U kovadel se automaticky počítá s možností vyjmutí pro zaručení funkce v požadovaném rozsahu rozměrů tvářených kusů. Také jsou to jedny z nejvíce namáhaných součástí, což vyžaduje použití materiálů s lepšími mechanickými vlastnostmi než u jiných komponent. U navrhovaného přípravku bude oproti jiným tvářecím strojům tato výměna poměrně častá. Důvodem je nutnost použití více sad kovadel volených podle požadované velikosti a tvaru průřezu výkovku. Vzhledem k protiběžnému pohybu kovadel ze čtyř stran se se zmenšujícím průřezem výkovku musí zmenšovat i šířka kovadel. Tomu je přizpůsoben i poměrně malý zdvih.

Vyšší frekvence výměny kovadel tak musí být zohledněna při návrhu způsobu upínání. Použité uchycení musí rovněž zabezpečit fixní polohu nástrojů pod vlivem zatížení během tvářecího procesu. Jedná se zejména o axiální zajištění. V práci jsou uvedeny tři varianty řešení.

### 7.6.1 Varianta D2A

První z variant je založena na poměrně známém a v praxi běžně používaném principu upevnění kovadel. Spodní část kovadla sloužící k upnutí má tvar rybiny a zapadá do rybinové drážky v hlavním těle nebo klínu. Zajištění probíhá zaražením klínu mezi bok drážky a bok upínací části kovadla. Tím dojde ke slícování druhého boku drážky s kovadlem a vymezení vůle. Přenos axiálních sil obstarává pero umístěné ve dně rybinové drážky.

Zaražení klínu i jeho vyjmutí by bylo doprovázeno rázovým zatěžováním součástí. U hlavních těl by to vzhledem k pevnému spojení s lisem a jejich velké hmotnosti problém nebyl. U bočních klínů by však rázy mohly způsobit poškození vodicích lišt. Použité rybiny rozdělují kontaktní plochu mezi kovadly a protikusy, s čímž bude při zatížení souviset vznik většího tlakového namáhání.



Obrázek 7-16: Uchycení kovadel pomocí klínů - varianta D2A

**Klady:**

Ověřený princip

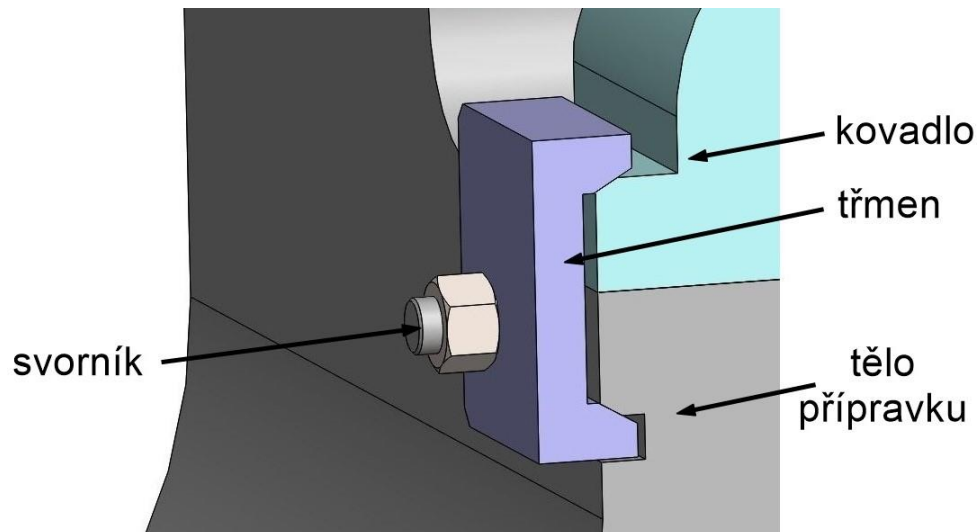
**Zápory:**

Rázové zatížení při výměně

Méně příznivé namáhání

**7.6.2 Varianta D2B**

Druhá varianta využívá k upnutí kovadla dvojici třmenů. Celé kovadlo je uloženo v drážce, jež přes boky zamezuje pohybu do stran. Spodní část kovadla obsahuje výběžky pro upnutí, jejichž horní hrana je zkosená. V hlavních tělech a klínech se nacházejí drážky rovnoběžně orientované s podstavou kovadel. Hrana boku drážky bližší k podstavě kovadla je opět sražená. Použitý třmen s průřezem ve tvaru písmene U je opatřen dvěma zkosenými plochami. Ty přiléhají ke zkoseným plochám vzniklým sražením hrany drážky a kovadla. Stažení každé dvojice třmenů probíhá dvěma svorníky procházejícími skrz hlavní těla nebo klíny. Silovými účinky obou třmenů dochází k přitažení kovadla k protikusům a jejich axiálnímu zajištění.



Obrázek 7-17: Uchycení kovadel třmeny - varianta D2B

**Klady:**

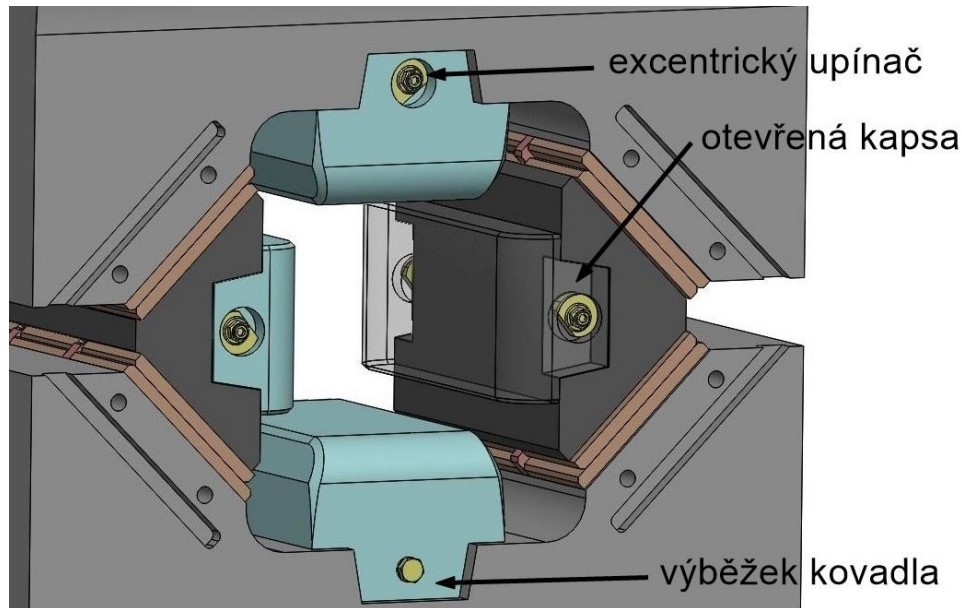
- Jednoduchá výměna kovadel
- Nízká cena

**Zápory:**

- Koncentrace napětí v okolí děr pro svorníky.

**7.6.3 Varianta D2C**

Poslední z uvedených způsobů počítá s uchycením kovadel šroubovými spoji. Na přední a zadní straně hlavních těl i klínů jsou vytvořeny otevřené kapsy. Do kapes zapadají výběžky na kovadlech, které zamezují pohybu kovadel do stran i v axiálním směru přípravku. Každá kapsa obsahuje jednu závitovou díru umístěnou v čelní ploše pro zajištění kovadel proti vypadnutí. Spodní kovadlo je upevněno obyčejným šroubem, jelikož vlivem vlastní tíhy perfektně dolehne ke spodnímu tělu ještě před dotažením šroubu. U bočních kovadel a zejména pak u horního je nutné zabezpečit přitažení kovadla ke kontaktní ploše protikusů. K tomu slouží excentrické upínače umístěné ve válcových zahloubeních. Po založení kovadla se upínač vloží do příslušného zhloubení a částečně se zašroubuje do závitové díry v kapse klínu nebo hlavního těla. Následuje přitažení kovadla k protikusům natočením excentrické části upínače. Dotažením středového šroubu dojde k aretaci excentrické části upínače a upnutí celého kovadla.



Obrázek 7-18: Uchycení kovadel excentrickými upínači - varianta D2C

**Klady:**

Snadná obsluha

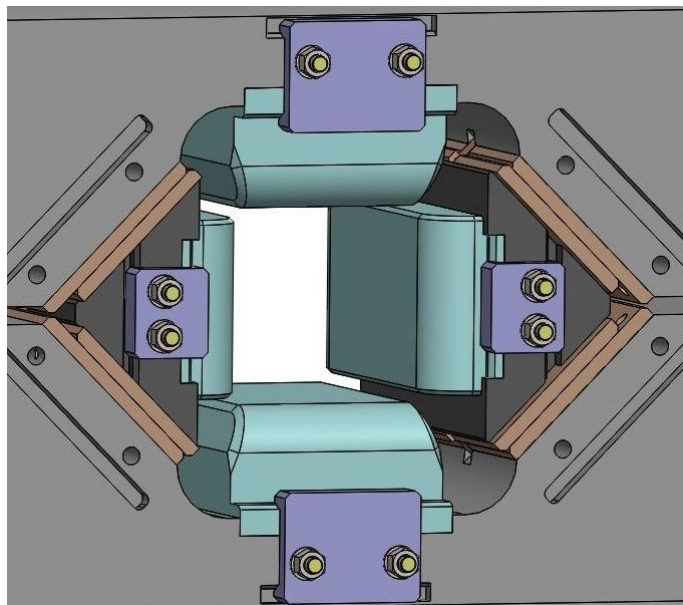
**Zápory:**

Závity náchylné k poškození

Zanášení upínacích ploch nečistotami

**7.6.4 Výběr výsledného řešení**

Výběr výsledné varianty probíhal ve spolupráci s technologií zadavatelské firmy. Hlavním požadavkem byla spolehlivost a jednoduchost obsluhy. Varianta s excentrickými upínači byla zavržena zejména z důvodu možného poškození závitů vzhledem k náročným podmínkám provozu kovárny a jejich obtížné opravě. Taktéž usazování nečistot v otvorech pro upínače by mohlo způsobovat problémy. Systém s rybinami by způsoboval větší mechanické namáhání těl a bočních klínů přípravku. Uvolňování a zajišťování kovadel klíny by se mohlo negativně podepsat na životnosti vodících lišt, které drží klíny v axiálním směru. Jako nejlepší řešení byla zvolena druhá varianta se třmeny. Jedná se o jednoduchý způsob upínání umožňující snadnou obsluhu. Při poškození svorníku nebo třmenu lze součásti snadno a levně vyměnit.



Obrázek 7-19: Výsledné řešení upínání kovadel

## 7.7 Mazací systém

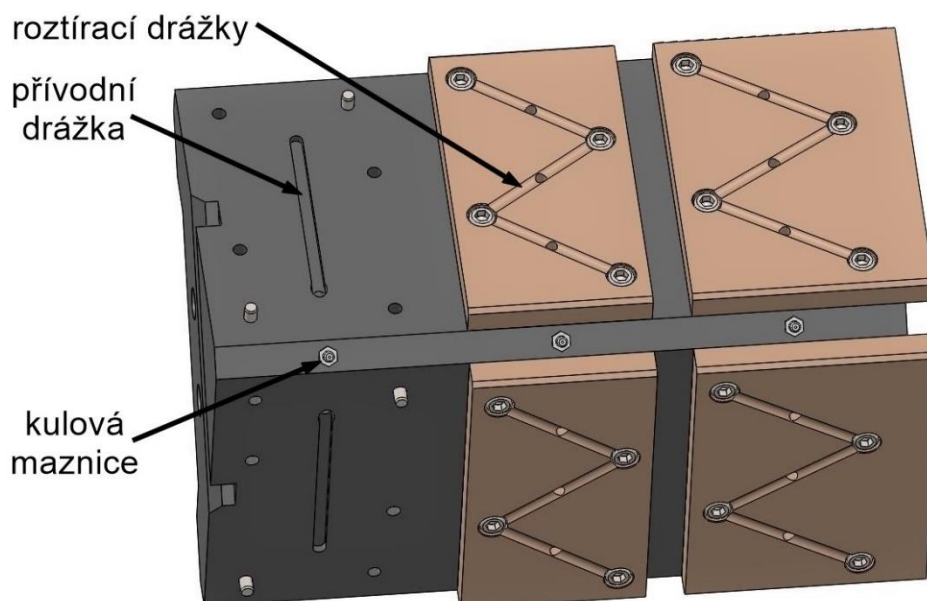
Mazání pohyblivých částí snižuje třecí odpory a tím i energetické ztráty. Přítomnost maziva omezuje opotřebení třecích ploch, což snižuje poruchovost a prodlužuje životnost příslušných dílů. Podílí se i na snížení hlučnosti.

Přívod maziva se týká především třecích ploch kluzných desek a dále také příložek pro zpětný pohyb klínů. Při návrhu mazacího systému je třeba brát v potaz způsob provozu a četnost používání. Vzhledem k méně častému nasazení a využití přípravku zejména pro výzkumné účely jsem zvolil nejjednodušší způsob mazání, tedy mazání ruční. Systém bude ztrátový a plastické mazivo bude přiváděno skrz mazací porty občasným zásahem obsluhy lisu.

### 7.7.1 Popis konstrukčního řešení

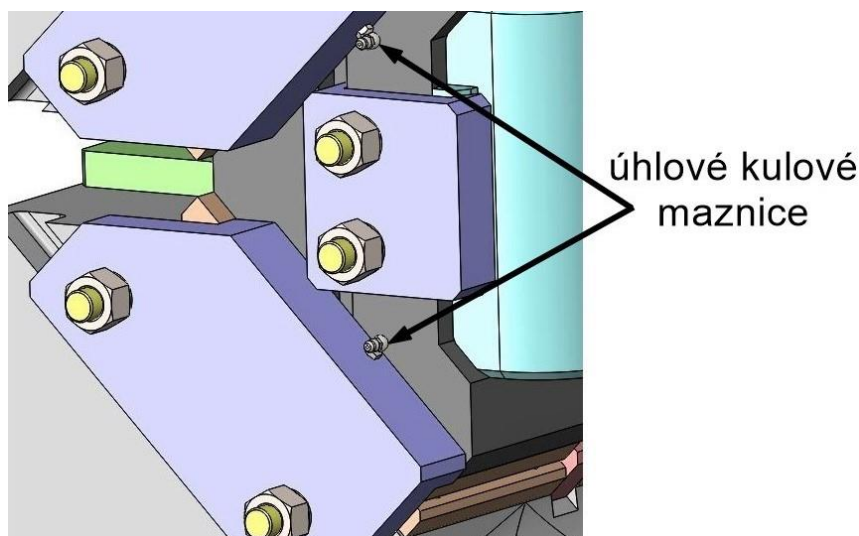
Kanály pro přívod maziva ke kluzným deskám jsem se rozhodl vést tělem klínu. Důvodem je jednodušší vyrobiteľnost oproti rozvodům v hlavních tělech. Společný přívod maziva k deskám horního i spodního těla navíc snižuje počet potřebných maznic. Ke každému páru desek přísluší jedna maznice. Jejich polohu znázorňuje obrázek 7-20. Mazivo je dále rozvedeno do svislých kanálů ústících do symetricky situovaných drážek v bočních stěnách klínů, které jsou překryté deskami. Kluzné plochy desek uchycených ke klínům obsahují roztírací drážky. Mazivo se do nich dostává třemi otvory umístěnými nad přívodní drážkou na boční stěně klínu. Roztírací drážky mají být orientovány ideálně kolmo na směr relativního pohybu částí, případně s mírným odklonem. V tomto případě byly navrženy drážky mírně skloněné, které propojují zahloubení pro zapuštěné šrouby.





Obrázek 7-20: Mazání kluzných desek

K mazání styku příložek pro zpětný pohyb klínů s kluznými deskami slouží jeden mazací port v každé příložce.



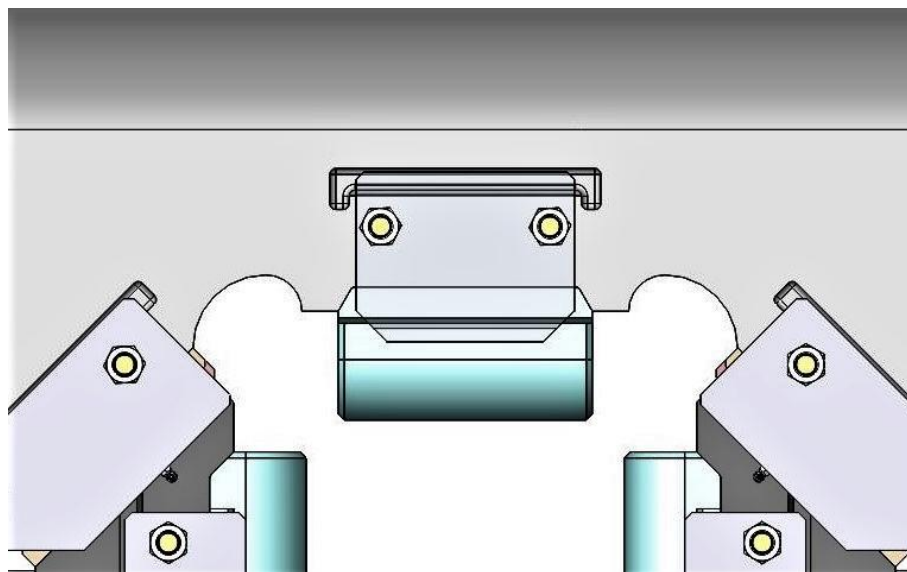
Obrázek 7-21: Mazání příložek

## 7.8 Další konstrukční prvky a provedené úpravy

V průběhu a hlavně závěru návrhu přípravku byly provedeny drobné konstrukční úpravy a přidány další konstrukční prvky. Provedené změny mají za cíl zajistit příznivější průběh napětí, zlepšit ergonomii a obecně celkovou kvalitu produktu.

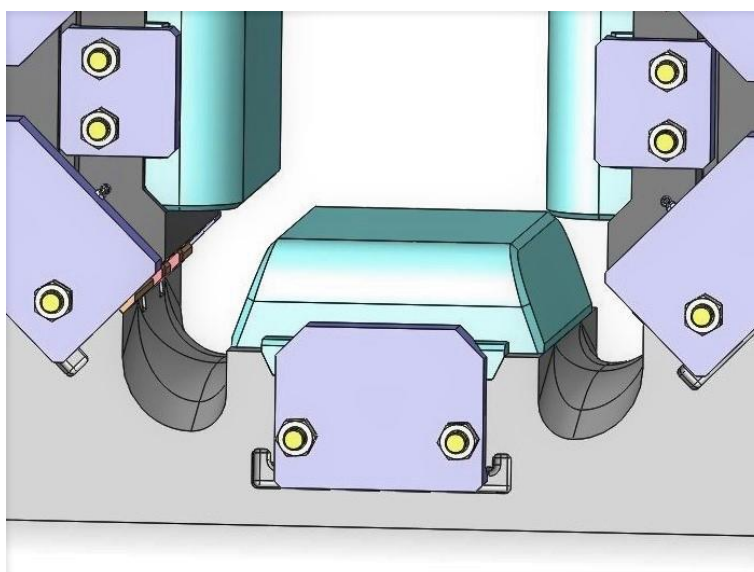
### 7.8.1 Provedené úpravy

Změny se týkají převážně geometrie hlavních těl a dále spodního kovádla. Některé z nich probíhaly v součinnosti s výsledky pomocných MKP simulací. Za zmínku stojí například úprava uložení vertikálních kovádel, kdy byla lože v hlavních tělech vyvýšena. Změna umožnila použití kovádel s nižším profilem při zachování podobné napjatosti v hlavních tělech, čímž došlo k redukci hmotnosti kovádel.



Obrázek 7-22: Úprava uložení kovadel

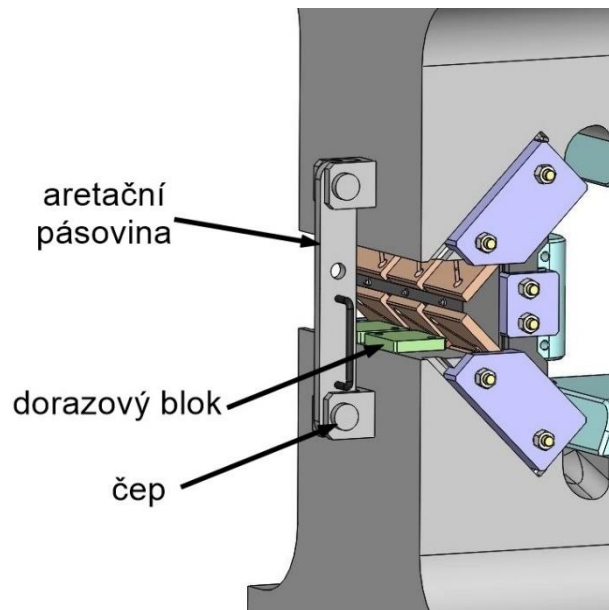
Další větší změna se odehrála v úpravě tvaru hlavních přechodových rádiusů ve spodním těle přípravku. Při krajích z nich byly vytvořeny nakloněné žlábkové usnadňující odvod okují, přebytečného maziva a jiných nečistot. Za stejným účelem byl změněn i tvar spodního kovadla. Přidané úkosy na bocích zajišťují odvod nečistot přímo do vytvořených žlábků a zabraňují jejich ulpívání na nepatřičných místech. Pozice děr pro svorníky a velikost přechodových rádiusů byly optimalizovány s využitím pomocných MKP výpočtů.



Obrázek 7-23: Úpravy pro lepší odvod nečistot

### 7.8.2 Další prvky

Na spodní tělo byly přidány dorazové bloky, které definují spodní úvrat' přípravku a zamezují možné kolizi kovadel. Po bocích hlavních těl jsou umístěny kostky a pásoviny s madly pro aretaci přípravku pomocí čepů v obou mezních polohách zdvihu. Aretace při úplném zavření zaručuje bezpečnou manipulaci s přípravkem. Zajištění při maximálním otevření lze využít například za účelem údržby a čištění.



Obrázek 7-24: Dorazové a aretační prvky přípravku přidat popisky

V hlavních tělech byly dále vytvořeny prvky pro připojení k lisu. U horního i spodního těla k tomu slouží čtyři otvory pro šrouby M48 a dvě drážky pro pera široké 110 mm.

## 7.9 Kontrolní MKP výpočet

Vzhledem ke komplikovanosti tvaru přípravku a způsobu zatěžování byl proveden kontrolní výpočet založený na numerické metodě konečných prvků. Veškeré pevnostně deformační analýzy proběhly s využitím softwaru Abaqus CAE 2020.

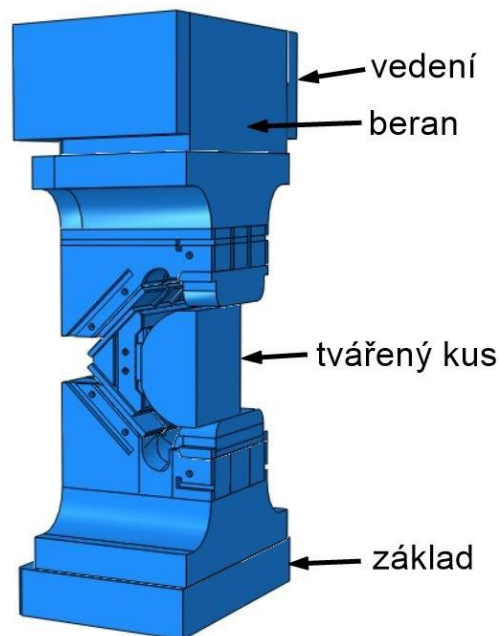
V průběhu konstrukčního řešení výsledné varianty došlo k provedení několika modifikací výpočtů. Okrajové podmínky a geometrie byly nastaveny vždy podle hlavního účelu konkrétní analýzy. Část základních výpočtů byla díky symetričnosti přípravku založena na čtvrtině modelu. Zatěžování probíhalo buď silou od kovadel, nebo působením zatížení na horní tělo. Použití čtvrtinové geometrie umožnilo poměrně rychlou odezvu například pro změnu pozic a velikostí děr pro svorníky nebo při geometrických úpravách uložení kovadel a přiléhajících přechodových rádiusů. Průběžné MKP výpočty posloužily i jako podklad pro přidání konstrukčních prvků. Jedná se například o přidání vodících lišt eliminujících naklápění klínů. MKP analýza byla postupně zpřesňována zahrnutím všech podstatných komponent a definováním přesnějších okrajových podmínek.

Nejdůvěryhodnějších výsledků bylo dosaženo s vloženým tvářeným kusem v přípravku. Záběr polovinou hloubky kovadel, ke kterému bude docházet i v praxi, simuluje excentrické zatížení. Přiřazení elasto-plastických vlastností vloženému kusu vyvolává odezvu, která se nejvíce blíží reálnému tvářecímu procesu. Nastavení výsledného výpočtu je podrobněji popsáno níže.

### 7.9.1 Popis modelu

Z důvodu excentrického namáhání a drobných tvarových diferencí mezi horním a spodním tělem byl koncový výpočet proveden na polovině modelu. Ten se pro zjednodušení skládá pouze ze součástí podílejících se na přenosu hlavního zatížení viz obrázek 7-25. U všech dílů došlo k potlačení méně podstatných tvarových prvků, které na výsledky výpočtu nemají zásadní vliv. Navíc by akorát komplikovaly tvorbu sítě a prodlužovaly čas průběhu analýzy.

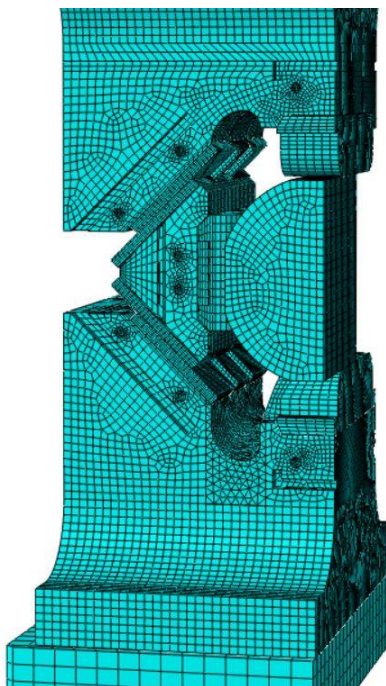
Těmito prvky jsou například drobné rádiusy, sražení a závitové díry. Model navíc obsahuje zjednodušený tvar základu, vedení a beranu lisu. Vedení má díky vůli 1 mm na každou stranu simulovat možnost drobného naklopení beranu v lisu vlivem excentrického zatížení. Simulace proběhla s vloženým tvářeným kusem o velikosti maximálního požadovaného průřezu (350 mm), který způsobuje nejméně příznivé namáhání přípravku.



Obrázek 7-25: Model vstupující do MKP simulace rozdělený na segmenty

### 7.9.2 Síť modelu

Před vytvořením sítě byly tvarově složitější komponenty rozděleny na několik segmentů. Rozdělení dovolilo v naprosté většině objemu použít taženou “brickovou“ síť. Pouze v jednom segmentu spodního těla tvarová komplikovanost neumožnila vytvoření tažených elementů a síť se tak skládá ze čtyřbokých “tetrahedral“ prvků. Základní velikost elementů byla nastavena v závislosti na celkových rozměrech konkrétních součástí a na požadované přesnosti výsledků. U pomocných dílů (základ, beran, vedení) se jejich velikost pohybuje okolo 40 mm. Větší komponenty samotného přípravku jsou rozděleny na prvky o velikosti 15 mm. Nejmenší součásti mají síť tvořenou méně jak 10 mm velkými elementy. V důležitějších oblastech s očekávaným výskytem většího namáhání došlo ke zjemnění sítě definováním požadovaného počtu prvků na vybraných hranách.



Obrázek 7-26: Ukázka sítě modelu

### 7.9.3 Materiálové vlastnosti

Software Abaqus neobsahuje materiálové knihovny, a proto byly vlastnosti materiálů potřebné pro analýzu definovány manuálně. Ve výpočtu jsou použity dva typy materiálů s rozdílnými přístupy. Prvním z nich je konstrukční ocel přiřazená všem tělům krom vloženého tvářeného kusu. U těchto součástí se počítá pouze s elastickou deformací. Vloženému dílu simulujícímu tvářený polotovar byly navíc přiřazeny parametry popisující plasticitu. Může se tak deformovat elasto-plasticky.

#### Materiál konstrukčních součástí:

Tabulka 7-1 - Definované materiálové vlastnosti konstrukčních součástí

Elastické vlastnosti	
Youngův modul pružnosti [MPa]	Poissonovo číslo [-]
$2 \cdot 10^5$	0,3

#### Materiál tvářeného kusu:

K simulování nejméně příznivého zatížení kovacího přípravku, které může při provozu nastat, byly vybrány vlastnosti již zmiňované slitiny titanu Ti6Al4V. Tato slitina sice v dříve provedené simulaci tvářecího procesu nevykazovala při teplotách okolo 1000 °C nejvyšší odpor proti tváření, avšak s klesající teplotou tento odpor rapidně stoupá. Materiálové vlastnosti přiřazené tvářenému dílu pocházejí z databáze softwaru DEFORM. Hodnoty odpovídají stavu při teplotě 700 °C.

Tabulka 7-2 - Definované materiálové vlastnosti tvářeného kusu

Elastické vlastnosti		
Youngův modul pružnosti [MPa]		Poissonovo číslo [-]
8,5 · 10 <sup>4</sup>		0,31
Plastické vlastnosti		
Mez kluzu [MPa]	Plastická deformace [-]	Strain rate [s <sup>-1</sup> ]
129,87659	0	0,001
140,34973	0,025	
142,69188	0,05	
139,8671	0,1	
126,08723	0,3	
116,57867	0,5	
360,20984	0	1
373,30092	0,025	
389,07889	0,05	
399,62098	0,1	
379,91507	0,3	
365,17062	0,5	

#### 7.9.4 Okrajové podmínky

##### Definování vazeb mezi součástmi:

U některých nepohyblivých spojů součástí došlo ke zjednodušení použitím vazby Tie. Ta zajišťuje svázání styčných povrchů spojovaných komponent. Vazba byla aplikována na styk hlavních těl a klínů s kluznými deskami, dále na spoje horní tělo - beran, spodní tělo - základ a dno drážky pro vodící lištu s lištou. U zmíněných spojů se neočekává odlehnutí. Vzájemná interakce ostatních dílů probíhá kontaktní vazbou. Mezi povrchy pomocného vedení a beranu není uvažováno tření. Ve zbylých případech se mezi kontaktními plochami počítá s koeficientem tření 0,2.

##### Definování uchycení:

Sestavě jsou odebrány stupně volnosti vetknutím spodní plochy pomocného základu lisu a vnějších bočních ploch vedení beranu. Vazbu symetrie zajišťuje podmínka zamezující posuvu ploch, které leží v rovině symetrického řezu, ve směru jejich normály. Kovadlům je zabráněno posuvu v axiálním směru.

##### Definování zatížení:

Zatížení sestavy je vyvoláno udělením posuvu beranu ve svislém směru (osa Z). Oproti zatěžování silou je výpočet stabilnější a konverguje rychleji. Deformačně napět'ový stav odpovídající působení beranu na sestavu silou 12,5 MN je určen odečtením reakční síly na tomto dílu. Požadovanému zatížení odpovídá posuv beranu o 25,5 mm vykonaný za 0,5 s.

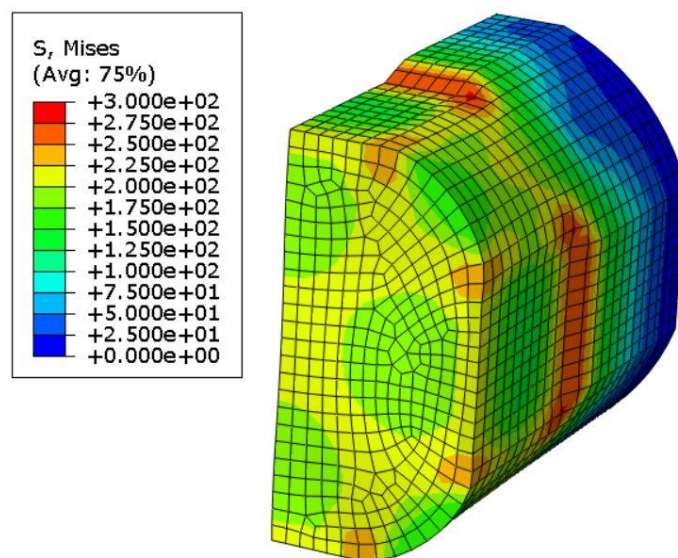
#### 7.9.5 Výsledky analýzy

Průběh napětí v tvářeném kuse viz obrázek 7-27 ukazuje, že dle očekávání dochází k rovnoměrnému silovému působení na výkovek ze všech stran. Tabulka 7-3 uvádí zatížení jednotlivých kovadel stanovená z kontaktních tlaků. Nižší hodnota na bočním kovadle je

způsobena zejména menší tuhostí přípravku v tomto směru. Velikosti sil se do velké míry shodují s analyticky určenou hodnotou 10 MN.

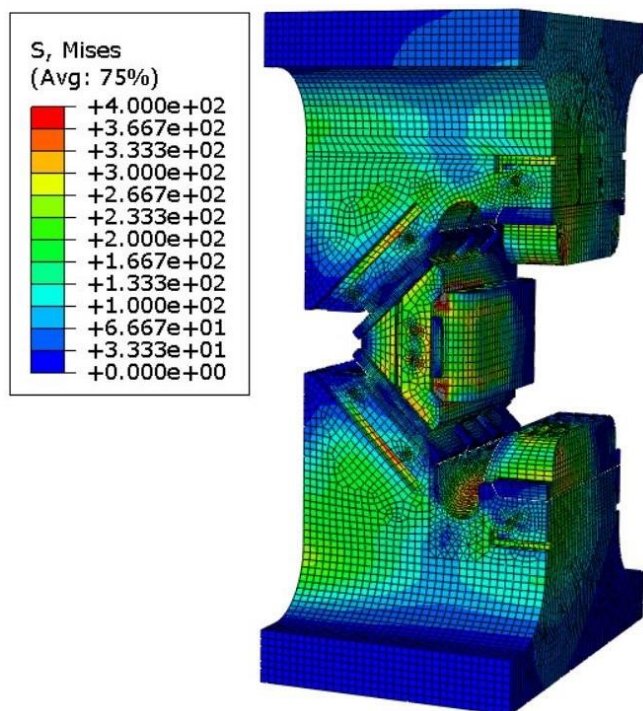
Tabulka 7-3: Zatížení kovadel

	horní kovadlo	spodní kovadlo	boční kovadlo
síla [MN]	9,85	9,85	9,65



Obrázek 7-27: Rozložení napětí von Miseses v tvářeném kuse v MPa

Obrázek 7-28 znázorňuje rozložení napětí v celém přípravku se skrytými pomocnými komponenty. Obecně lze prohlásit, že nejvíce namáhaná místa se vlivem excentrického zatížení nachází v přední části přípravku, tedy ze strany vkládání kovaného kusu. Z hlediska podrobného vyhodnocování jsou důležité zejména obě hlavní těla a klín. Výrobně se jedná o nejsložitější a nejnákladnější komponenty. U kovadel a kluzných desek se automaticky počítá s vysokým namáháním a výrobou z kalené nástrojové oceli, u níž se nepředpokládá dosažení mezních hodnot napětí.



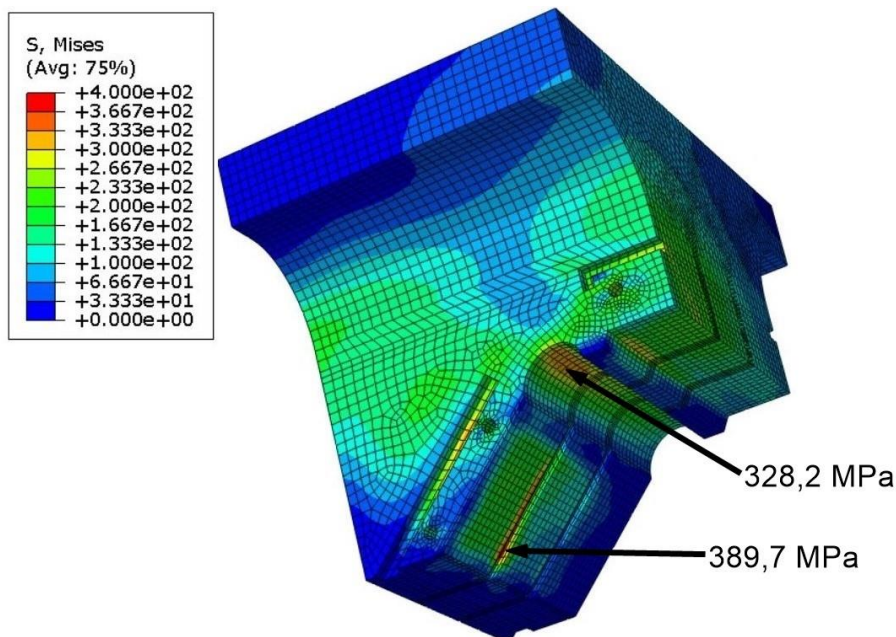
Obrázek 7-28: Rozložení napětí von Miseses v samotném přípravku v MPa

### Horní tělo:

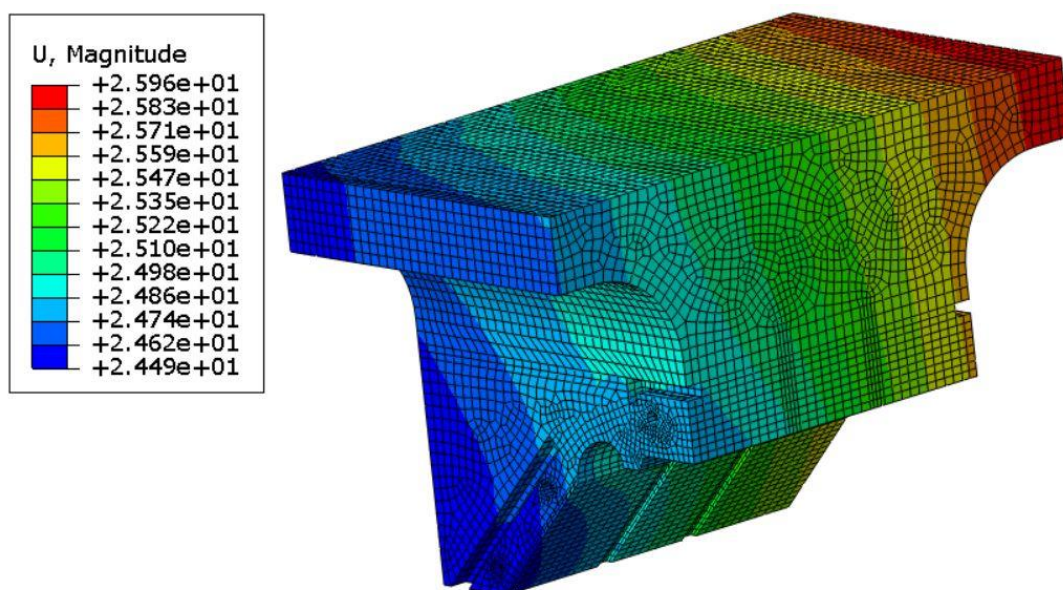
Výsledky simulace ukazují, že jednou z nejvíce namáhaných oblastí je dle očekávání přechodový rádius mezi uložením kovadla a nakloněnou boční rovinou. Maximální napětí v rádiusu nabývá hodnoty 328,2 MPa. V objemu se vyskytují i vyšší hodnoty napětí, hlavně ve dně drážky pro přední vodící lištu a jejím nejbližším okolí. Namáhání je způsobeno jak přenosem hlavního zatížení přes kluzné desky na klín, tak zatěžováním vodících lišt naklápěním klínu. Napětí zde dosahuje hodnoty 389,7 MPa. Výsledky však v tomto místě nemají dostatečně vypovídající hodnotu, jelikož je analýza zjednodušena pevným spojením lišty s tělem, které přesně neodpovídá skutečnému stavu. V reálu lze očekávat hodnoty nižší.

Obrázek 7-30 znázorňuje celkové posunutí horního těla. Vlivem excentrického namáhání a vůle mezi beranem a jeho vedením je rozdíl v posunutí přední a zadní části horního těla přibližně 1,3 mm.





Obrázek 7-29: Průběh napětí von Mises v horním těle v MPa

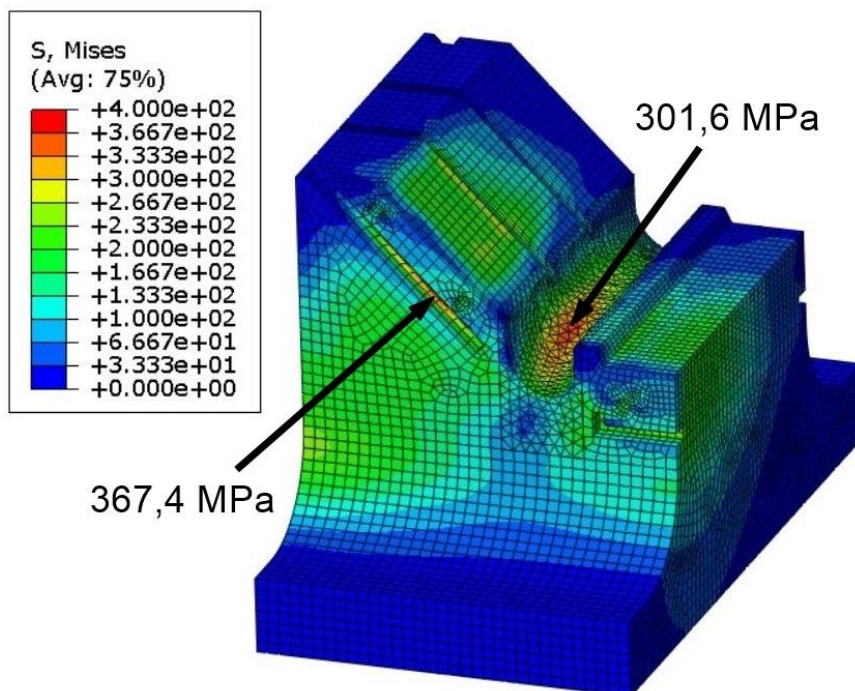


Obrázek 7-30: Celkové posunutí horního těla v mm

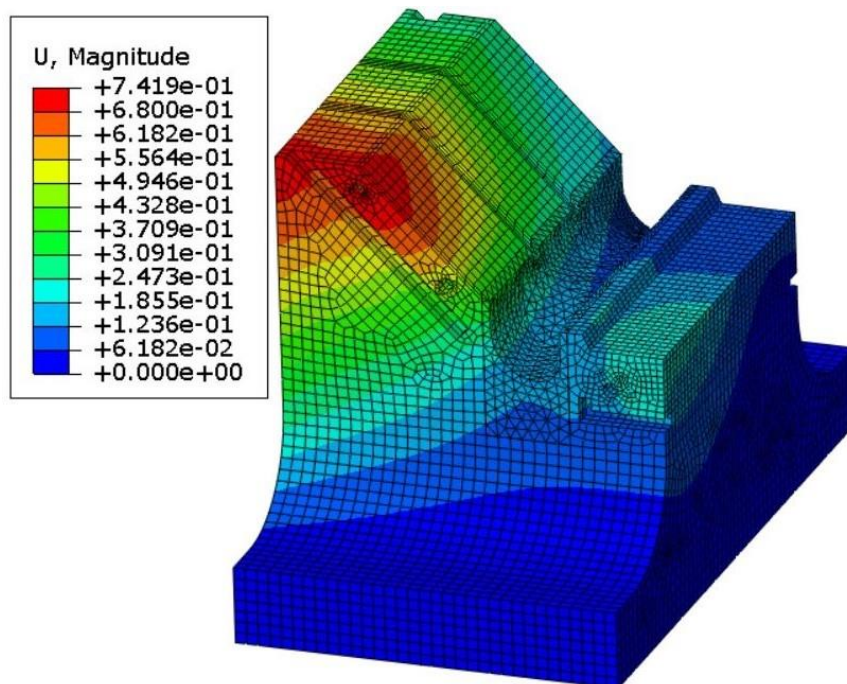
### Spodní tělo:

Podobně jako u těla horního je jedním z kriticky namáhaných míst přechodový rádius. Maximální napětí zde má hodnotu 301,6 MPa. Další exponované místo se nachází v drážce pro příložku na přední stěně těla, kde napětí dosahuje 367,4 MPa. Ve skutečnosti budou vnitřní hrany drážky zaobleny, a tudíž lze očekávat hodnotu nižší. Menší namáhání v oblasti drážky pro vodící lištu i v přechodovém rádiusu oproti hornímu tělu způsobuje pevná pozice těla bez možnosti naklopení.

Celkové posunutí u spodního těla znázorňuje obrázek 7-32. Hodnota 0,74 mm je vzhledem k velikosti dílu i zatížení vyhovující.



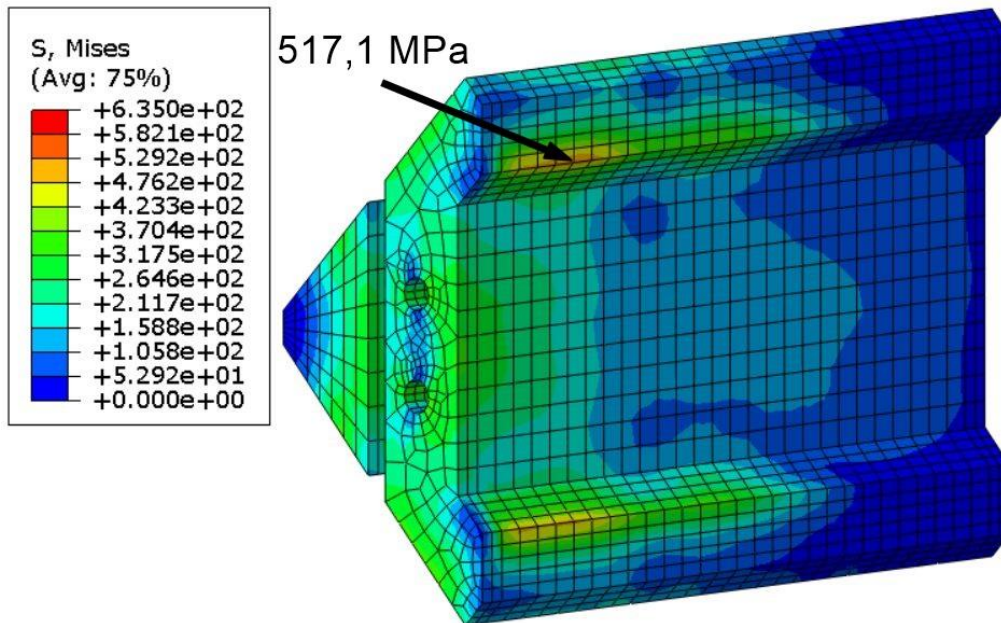
Obrázek 7-31: Průběh napětí von Miseses ve spodním těle v MPa



Obrázek 7-32: Celkové posunutí spodního těla v mm

### Klín:

Největší namáhání klínu nastává působením tlaku v oblasti boku drážky pro kovadlo. Hodnota maximálního napětí nabývá hodnoty 517,1 MPa. Vznik většího namáhání v horní části klínu je způsoben třením mezi kovadlem a tvářeným kusem.



Obrázek 7-33: Průběh napětí von Mises v klínu v MPa

### 7.9.6 Zhodnocení výsledků při zatížení silou 25 MN

Výsledky MKP analýzy ukazují napjatost v jednotlivých dílech a jejich deformace. Materiál ČSN 16 343 zvolený pro výrobu klínu má běžnou mez kluzu 635 MPa. Klín bude navíc zušlechtěn pro získání lepších mechanických vlastností, tudíž lze očekávat dosažení koeficientu bezpečnosti k mezi kluzu okolo 1,4. Pro výrobu hlavních těl bude použit materiál ČSN 12 050, u kterého se zušlechtěním dosáhne meze kluzu okolo 400 MPa. Hodnoty maximálních napětí jsou v obou tělech poměrně vysoké. Mez kluzu však nepřekračují, což byl požadavek zadavatele. Jak již bylo v práci několikrát zdůrazněno, výpočet simuluje extrémní stav zatížení, ke kterému nebude běžně docházet. Výsledky proto dané aplikaci vyhovují.

## 8 Systém výměny kovadel

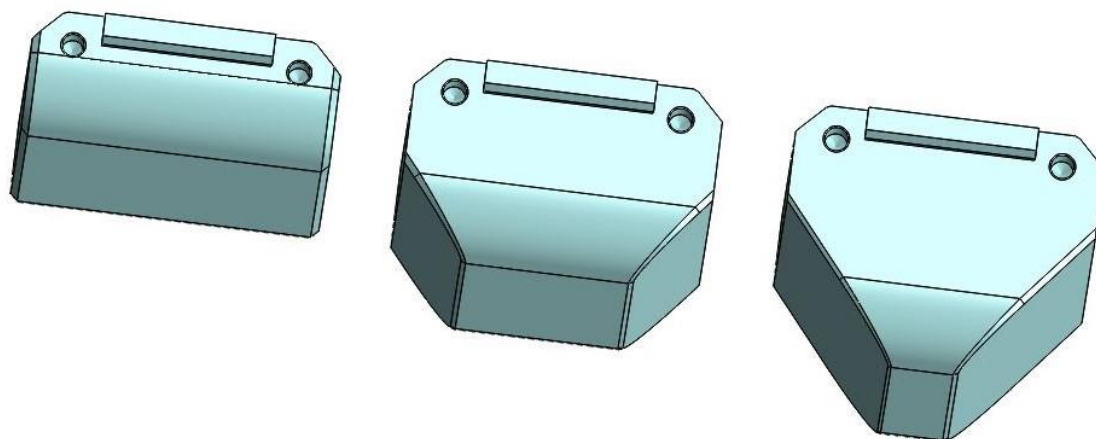
Kovadla se budou měnit v závislosti na velikosti a požadovaném tvaru výrobku. Pro potřebný rozsah velikostí průřezu výkovku přísluší k navrženému kovacímu přípravku minimálně 3 sady kovadel. Rozsahy tvařitelných průřezů jednotlivých sad byly navrženy s poměrně velkým překrytím, což pomáhá překlenout polohu největšího otevření přípravku způsobující maximální namáhání. Překryvy rozsahů dále nabízejí možnost volby mezi sadami, a tím i větší univerzálnost použití vzhledem k měnící se šířce pracovní plochy kovadel.

Tabulka 8-1 - Rozsahy průchodnosti tvářecího prostoru přípravku

	Horní úvrat' [mm]	Spodní úvrat' [mm]
Sada 1	370	220
Sada 2	270	120
Sada 3	200	50

Během návrhu způsobu výměny nástrojů je třeba brát v potaz možnosti daného pracoviště. Metalurgická hala společnosti COMTES FHT z hlediska manipulační techniky nabízí použití mostového jeřábu, kovacího manipulátoru a motorizovaného případně ručního vysokozdvizného vozíku. Vzhledem k přístupnosti pracovního prostoru přípravku umístěného v lisu použití jeřábu nepřipadá v úvahu a možnosti se tak omezují na aplikaci zbylých variant.

Horní a spodní kovadlo lze při transportu snadno zavěsit nebo položit na manipulační prostředek. Problematičtější je však zakládání a vyjímání kovadel bočních. Ta budou muset být uložena v jakémsi držáku zajišťujícím požadovanou vertikální orientaci. Z důvodu nutnosti výroby držáku pro boční kovadla se nabízí možnost navrhnout jej tak, aby do něj šla uložit rovnou všechna čtyři kovadla. Takové řešení výrazně zjednodušuje a zefektivňuje celý proces výměny. K manipulaci s držákem v průběhu výměny bude použit kovací manipulátor. Ten zaručuje pevné upnutí hydraulickými kleštěmi a nabízí široké možnosti a rozsahy pohybů.

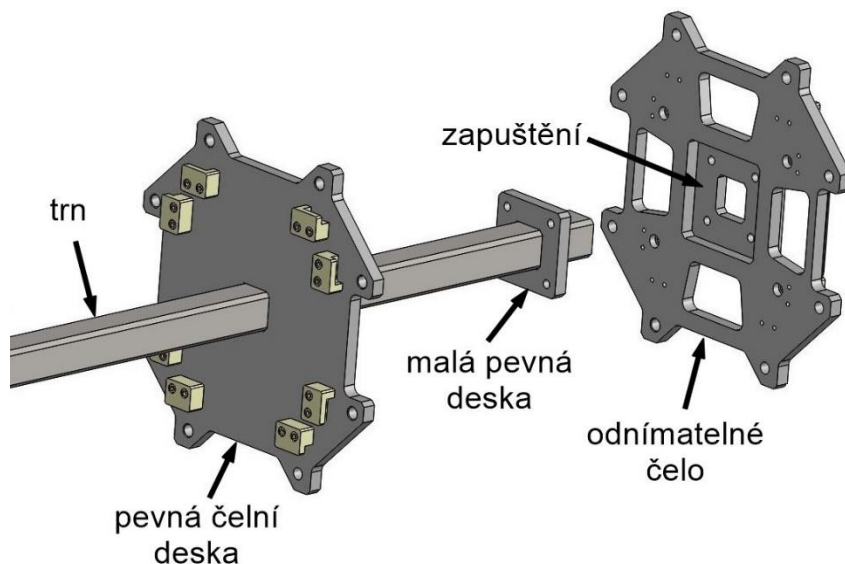


Obrázek 8-1: Porovnání velikostí kovadel z jednotlivých sad

### 8.1 Konstrukce držáku pro výměnu kovadel

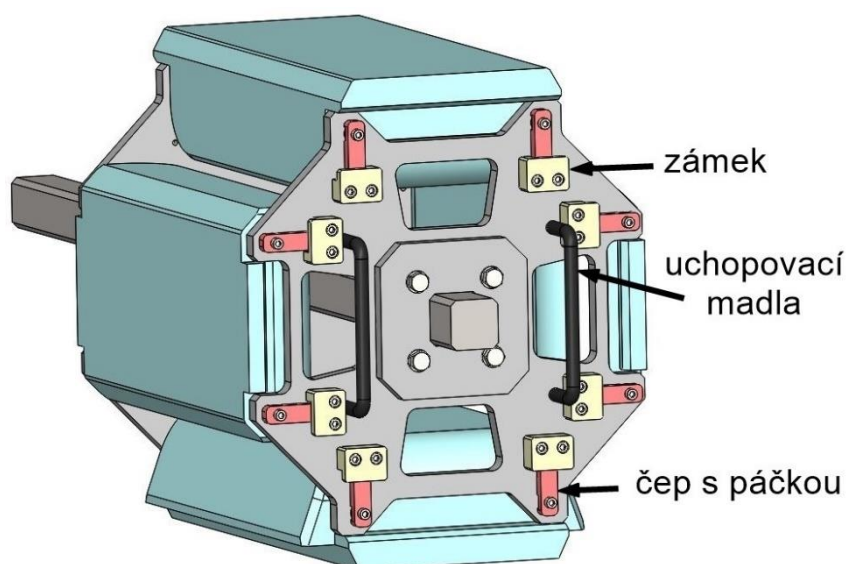
Základ tvoří trn čtvercového průřezu. Jedná se o hlavní nosný prvek, za jehož konec se celá sestava upíná do manipulátoru. K trnu jsou napevno přivařeny dvě desky. Velká čelní deska slouží přímo k uchycení kovadel. K té malé se pomocí šroubových spojů upevňuje druhé čelo pro zajištění kovadel z opačné strany. Odnímatelné čelo se skládá ze dvou k sobě svařených desek, čímž vzniká jakési zapuštění. Po nasunutí čela na trn do zmíněného zapuštění

přesně zapadá malá deska přivařená k trnu. Tím dochází k zarovnání vnitřních stran obou součástí a vytvoření prostoru přesně na délku kovadel. Zadní čelo se demontuje za účelem založení nebo vyjmutí držáku z pracovního prostoru kovacího přípravku v případech, kdy jsou v něm upnutá kovadla. Podrobný postup celé výměny popisuje následující kapitola. Jelikož s celým zadním čelem bude manipulovat obsluha lisu, jsou v něm vytvořeny otvory pro odlehčení. Uchopení usnadňují dvě madla. Čtyři výřezy po stranách s kovadly zajišťují prostor pro přiložení třmenů k upevnění nástrojů do kovacího přípravku.



Obrázek 8-2: Základní části držáku pro výměnu kovadel

Samotná kovadla jsou pak v držáku zajištěna čepy s páčkou, které procházejí skrz čela. Po zasunutí čepu do díry v kovadle se páčka pootočí tak, aby zapadla do zámku upevněného na vnější straně čela. Tím dojde k zamezení posuvu v axiálním směru a zajištění proti vypadnutí.



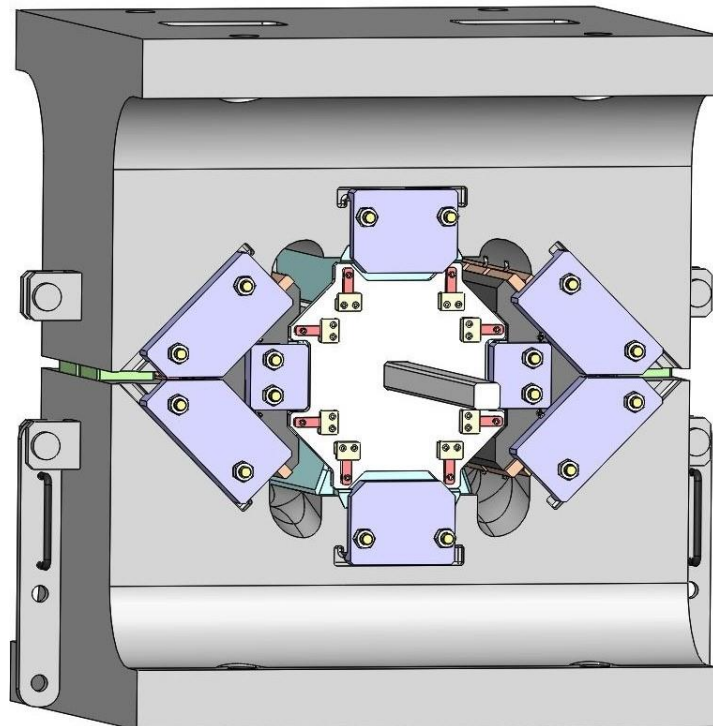
Obrázek 8-3: Držák se založenými kovadly

## 8.2 Popis procesu výměny

Aby výměna kovadel mohla proběhnout co možná nejrychleji, každá sada bude uložena ve svém vlastním držáku. Tím je navíc zajištěno, že nedojde k záměně pozic kovadel nebo k promíchání mezi jednotlivými sadami.

Při zakládání musí být kovací přípravek otevřen do horní úvratí zajišťující nejlepší přístupnost. Celá sestava kovadel se pomocí manipulátoru vloží do pracovního prostoru tak, aby spodní kovadlo dosedlo na své místo ve spodním těle. V tu chvíli může dojít k zavření přípravku. Boky drážek pro uložení kovadel v klínech jsou zkoseny pod úhlem 45°, což dovoluje nasunout klíny na boky kovadel. Po zavření a dosednutí kontaktních ploch nástrojů k příslušným protikusům následuje přiložení třmenů a jejich stažení svorníky. Tím jsou kovadla upnuta. Pro vyjmutí držáku z kovacího přípravku se odjistí a vytáhnou všechny čepy. Nakonec se demontuje zadní čelo a s trnem se vyjede z pracovního prostoru kovacího přípravku.

Vyjmutí kovadel pak probíhá v opačném sledu úkonů. Tedy ve zkratce: vložení trnu do zavřeného přípravku, upevnění zadního čela, vložení čepů a jejich zajištění, sejmutí třmenů držících kovadla, otevření přípravku, vyjmutí celé sestavy.



Obrázek 8-4: Výměna sady kovadel

## 9 Ekonomické zhodnocení

Pro jednotlivé komponenty byla na základě výsledků MKP analýzy a dalších znalostí sestavena materiálová skladba, která společně s 3D daty a výkresovou dokumentací posloužila jako podklad pro poptávku výroby. Poptání proběhlo u několika výrobců, z nichž nejvýhodnější podmínky nabídla společnost PETBEK s.r.o. Jedná se pouze o předběžnou kalkulaci, takže geometricky podobné díly byly v poptávce sjednoceny. Tabulka 9-1 uvádí cenu výroby kompletních dílů včetně materiálu bez tepelného zpracování. Ceny jsou uvedeny bez DPH.

V rámci poptávky se řešila i technologičnost konstrukce. U hlavních těl došlo k přidání rádiusů do drážek pro uložení příložek.

**Tabulka 9-1: Náklady na výrobu přípravku**

<b>Položka</b>	<b>Materiál</b>	<b>Množství</b>	<b>Jednotková cena</b>	<b>Cena za dané množství</b>
Hlavní tělo	ČSN 12 050	2	275 800,00 Kč	551 600,00 Kč
Klín boční	ČSN 16 343	2	58 600,00 Kč	117 200,00 Kč
Kluzná deska	ČSN 19 573	12	2 600,00 Kč	31 200,00 Kč
Kluzná deska mazaná	ČSN 19 573	12	3 250,00 Kč	39 000,00 Kč
Vodící lišta	ČSN 16 343	8	2 300,00 Kč	18 400,00 Kč
Příložka klínu	ČSN 15 142	8	2 800,00 Kč	22 400,00 Kč
Třmen vert. kovadel	ČSN 15 142	4	3 100,00 Kč	12 400,00 Kč
Třmen hor. kovadel	ČSN 15 142	4	2 300,00 Kč	9 200,00 Kč
Kovadlo boční sada1	ČSN 19 552	2	14 900,00 Kč	29 800,00 Kč
Kovadlo spodní sada1	ČSN 19 552	2	19 380,00 Kč	38 760,00 Kč
Vícenáklady 30 %				260 988,00 Kč
<b>Suma</b>				<b>1 130 948,00 Kč</b>

## 10 Závěr

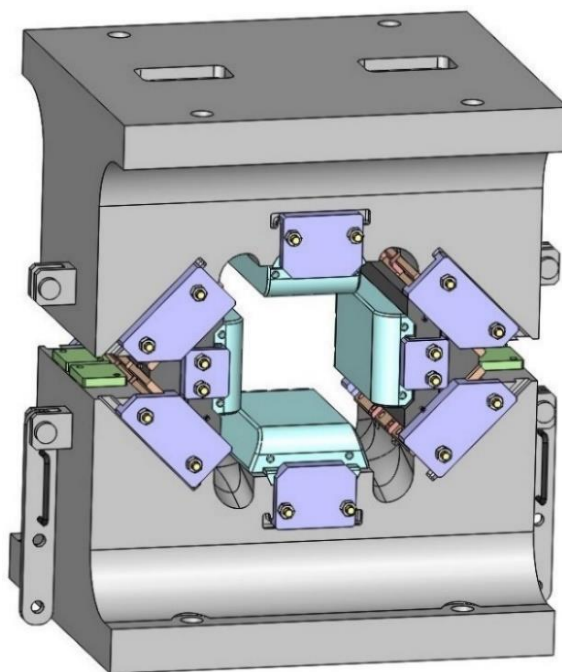
Diplomová práce se zabývá výrobními stroji a zařízeními spojenými s technologií radiálního kování pomocí čtyř kovadel. Tento způsob tváření kovů umožňuje zefektivnit proces volného kování a usnadňuje zpracování obtížně tvářitelných materiálů.

První část práce se zaměřuje na vysvětlení základních pojmů a dějů souvisejících s tvářením, respektive kováním. Následně se zabývá tématem radiálního kování. Je zde popsán princip této metody, její možnosti, přínosy a limity. Poměrně podrobně jsou zde rozepsány typy pohonů radiálních kovacích strojů a jejich parametry. Obsah se dále zaměřuje na radiální kovací zařízení určená k vložení do pracovního prostoru hydraulických lisů. Tato zařízení představují alternativu k častěji používaným radiálním kovacím strojům.

Druhá část práce je primárně věnována konstrukčnímu návrhu přípravku pro kování tvářeného kusu ze čtyř stran. Přípravek bude poháněn konkrétním hydraulickým kovacím lisem o jmenovité síle 25 MN vlastněným zadavatelskou firmou COMTES FHT. Po bližší specifikaci zadání a požadavků byly navrženy čtyři koncepční varianty řešení. Jednotlivé návrhy doplňují jednoduché analytické výpočty pro určení přibližných rozměrů. Důvodem je relativně malá velikost pracovního prostoru hydraulického lisu. Systematickým hodnocením z hlediska kvality a ceny byla vybrána nejvhodnější varianta řešení.

Výsledná varianta, která využívá klíny pro přenos zatížení na boční kovadla, je následně v práci dopodrobna rozpracována. Většina konstrukčních uzlů byla řešena ve variantách. Základní dimenzování proběhlo analytickými výpočty pro zatížení odpovídající dané výrobní technologii. V reálném provozu však vzhledem k použití přípravku pro výzkumné účely hrozí zatížení větší, které může dosahovat až jmenovité síly lisu. Pro stav maximálního zatížení a nejméně příznivého namáhání byl proveden kontrolní výpočet numerickou metodou MKP. Výsledná napětí a deformace vyhovují dovoleným hodnotám pro danou aplikaci.

V závěru práce je proveden návrh způsobu výměny sad kovadel zahrnující kompletní konstrukční řešení. Poslední krok představuje ekonomické zhodnocení. Jedná se o přibližnou kalkulaci zohledňující ceny materiálů a výrobu komponent navrženého přípravku.



Obrázek 10-1: Výsledný návrh přípravku pro kování



## Seznam použitých zdrojů

- [1] ALTAN, T., NGAILE, G. a SHEN, G. ed. *Cold and Hot Forging: Fundamentals and Application*. Ohio: ASM International, 2004. ISBN 0-87170-805-1.
- [2] BENEŠOVÁ, S. a BERNÁŠEK, V. *Technologie tváření*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2014. ISBN 978-80-261-0449-0.
- [3] *COMTES FHT* [online]. [cit. 2021-1-14]. Dostupné z: <https://www.comtesfht.cz/>
- [4] *COMTES FHT: Interní dokumentace*.
- [5] *Czech Statistic Office: Patentová statistika – definice sledovaných pojmů* [online]. 2017 [cit. 2020-11-22]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/documents/10180/23170090/patenty\\_definice.pdf/0ea6fc85-64b7-4640-b216-5370250f8f08?version=1.1](https://www.czso.cz/documents/10180/23170090/patenty_definice.pdf/0ea6fc85-64b7-4640-b216-5370250f8f08?version=1.1)
- [6] DOMBLESKY, J., SHIVPURI, R. a ALTAN, T. *A REVIEW OF RADIAL FORGING TECHNOLOGY INCLUDING PREFORM DESIGN FOR PROCESS OPTIMALIZATION*. Ohio: The Ohio State University Columbus, 1994.
- [7] *European Patent Register* [online]. [cit. 2020-11-23]. Dostupné z: <https://register.epo.org/application?number=EP11848810&lng=en&tab=main>
- [8] FAIR, B., KOPPENSTEINER, R. a AUER, M. *FORGE Magazine: Shaping Future Innovations with Radial Forging* [online]. 2019 [cit. 2020-12-10]. Dostupné z: <https://www.forgemag.com/articles/84977-shaping-future-innovations-with-radial-forging>
- [9] *FIBRO: Guide elements* [online]. [cit. 2021-3-30]. Dostupné z: [https://www.fibro.de/fileadmin/FIBRO/EN/02\\_NORMALIEN/Kapitel\\_D/PDF/B2\\_HK\\_GB\\_Kapitel\\_D.pdf](https://www.fibro.de/fileadmin/FIBRO/EN/02_NORMALIEN/Kapitel_D/PDF/B2_HK_GB_Kapitel_D.pdf)
- [10] HANGANU, D. a NEACSU, M. *RADIAL FORGING MACHINE. TECHNOLOGY FOR AXLE TYPE PARTS*. *Annals of the University Dunarea de Jos of Galati: Fascicle IX, Metallurgy* [online]. 2013, **31**(4), 84-89 [cit. 2020-11-24]. ISSN 1453083X. Dostupné z: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=asn&an=130367112&scope=site>
- [11] LAZORKIN, V. *New Four-Die Forging Devices (FDFD) Design Solutions and Open-Die Forging Technologies*. *Advances in Materials* [online]. 2018, **7**(1) [cit. 2020-12-10]. ISSN 2327-2503. Dostupné z: doi:10.11648/j.am.20180701.11
- [12] LAZORKIN, Viktor a LAZORKIN, D. *INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR OPEN-DIE FORGING ON PRESSES: FOUR-DIE FORGING DEVICES* [online]. [cit. 2020-12-10]. Dostupné z: [http://www.fdforging.com/userfiles/files/Advertising\\_Pamphlet\\_En\\_UK.pdf](http://www.fdforging.com/userfiles/files/Advertising_Pamphlet_En_UK.pdf)

- [13] LAZORKIN, V. a MELNYKOV, Y. *NEW TECHNOLOGIES OF FORGING OF INGOTS AND BLANKS BY FOUR DIES IN OPEN-DIE FORGING PRESSES* [online]. [cit. 2020-12-10]. Dostupné z: [http://fdforging.com/userfiles/files/ifm\\_2011.pdf](http://fdforging.com/userfiles/files/ifm_2011.pdf)
- [14] LENFELD, P. *Technologie II: Technologie tváření kovů*. Technická univerzita v Liberci [online]. [cit. 2020-10-23]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/01.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm)
- [15] LENFELD, P. *Technologie II: Technologie objemového tváření – kování*. Technická univerzita v Liberci [online]. [cit. 2020-10-23]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/03.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm)
- [16] MASEK, B., HRONEK, P. a STADLER, P. *FEM ANALYSES OF CONNECTIONS FOR SEVERAL STRUCTURES OF A HYDRAULIC RADIAL FORGING MACHINE*. 2010. Vídeň. ISBN 978-3-901509-73-5.
- [17] *MIDOL kluzná ložiska: Kalená ocel* [online]. [cit. 2021-4-10]. Dostupné z: <https://tempwebmiumusersrecovery.blob.core.windows.net/users/113792/assets/18edc75c1516123fe06ec386d82155f4/kalenaocel.pdf>
- [18] NIESCHWIETZ, P., KNAUF, F. a SZCZEPANIK, S. *Kowarka o napędzie hydraulicznym i jej zastosowanie. Metal Forming / Obróbka Plastyczna Metali* [online]. 2016, 27(4), 341-351 [cit. 2020-11-24]. ISSN 08672628. Dostupné z: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=asn&an=123054240&scope=site>
- [19] SEMIATIN, S. L. *ASM handbook: Metalworking: Bulk Forming*. Ohio: ASM International, 2005. ISBN 978-0-87170-708-6.
- [20] *SKF: Composite plain bearings* [online]. [cit. 2021-4-12]. Dostupné z: [https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d19680229dfc-SKF-composite-plain-bearings---11004-EN\\_tcm\\_12-107917.pdf](https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d19680229dfc-SKF-composite-plain-bearings---11004-EN_tcm_12-107917.pdf)
- [21] SMS group: SMX radial forging machines. <https://www.sms-group.com/> [online]. [cit. 2020-11-23].
- [22] *SMS group: Radial forging machines* [online]. [cit. 2020-11-23]. Dostupné z: <https://www.sms-group.com/plants/all-plants/radial-forging-machines>
- [23] *TECHNOLOGIE STROJE A ZAŘÍZENÍ: Tváření* [online]. [cit. 2020-10-19]. Dostupné z: <http://techstroj.g6.cz/T/T06.pdf>
- [24] *Úřad průmyslového vlastnictví: Jednotná patentová ochrana* [online]. [cit. 2020-11-20]. Dostupné z: <https://upv.gov.cz/informacni-zdroje/informace-z-evropske-unie-a-mezinarodnich-organizaci-/informace-z-eu>

[25] *Západočeská univerzita v Plzni: Podklady k předmětu KKS/KTS* [online].  
[cit. 2021-2-20]. Dostupné z:  
<https://courseware.zcu.cz/portal/studium/courseware/kks/kts/cviceni.html>

## Seznam obrázků

Obrázek 2-1: Logo společnosti COMTES FHT [3] .....	11
Obrázek 3-1: Teploty pro tváření uhlíkových ocelí za tepla [23] .....	13
Obrázek 3-2: Změna tažnosti, meze kluzu a meze pevnosti v závislosti na stupni deformace [14] .....	13
Obrázek 3-3: Základní tvary kovadel [15] .....	14
Obrázek 3-4: Ukázka pěchování materiálu [2] .....	15
Obrázek 3-5: Ukázka prodlužování materiálu [2].....	15
Obrázek 3-6: Ukázka osazování a prosazování materiálu [2].....	16
Obrázek 3-7: Ukázka přesazování materiálu [2].....	16
Obrázek 3-8: Ukázka rozkování materiálu na trnu [2].....	17
Obrázek 3-9: Ukázka prodlužování materiálu na trnu [2].....	17
Obrázek 3-10: Ukázka děrování materiálu plným trnem [2] .....	17
Obrázek 3-11: Kování v jednodutinové zápustce na bucharu [2] .....	18
Obrázek 4-1: Ukázka hydraulického radiálního kovacího stroje řady SMX od společnosti SMS [22] .....	20
Obrázek 4-2: Rozložení napětí v průřezu tvářeného materiálu za použití 4 a 2 kovadel [12].	20
Obrázek 4-3: Základní schéma radiálního tváření s využitím dvou manipulátorů [1].....	21
Obrázek 4-4: Příklady výrobků získaných radiálním kovááním [18] .....	21
Obrázek 4-5: Druhý postavený radiální kovací stroj vertikální koncepce [8] .....	22
Obrázek 4-6: První produkční hydraulický tvářecí stroj [18] .....	22
Obrázek 4-7: Radiální kovací stroj se čtyřmi kovadly a mechanickým pohonem [19].....	23
Obrázek 4-8: Radiální kovací stroj s hydraulickým pohonem [19] .....	24
Obrázek 4-9: Radiální tvářecí stroj se čtyřmi kovadly a hydromechanickým pohonem [19]..	25
Obrázek 4-10: Vstupní polotovary pro tváření tenkostěnné trubky, zařízení SMS SMX 800, Vítkovice Česká republika [18].....	26
Obrázek 4-11: Schéma radiálního kování dutých částí s pomocí (a) krátkého trnu, (b) dlouhého trnu [19].....	26
Obrázek 4-12: Automatizovaná linka SMS SMX 600 na Tchaj-wanu [21] .....	27
Obrázek 4-13: Zařízení pro kování ze čtyř stran umístěné v 30 MN lise v Brazílii [12].....	28
Obrázek 4-14: Zařízení pro kování ze čtyř stran [12] .....	29
Obrázek 4-15: Změna teploty tvářeného kusu při jednotlivých úderech [13].....	29
Obrázek 4-16: Schéma redukce kruhového průřezu zařízením pro kování ze čtyř stran [13].	30
Obrázek 5-1: Hydraulický kovací lis společnosti COMTES FHT.....	32
Obrázek 5-2: Připojovací rozměry k lisu, vlevo - pracovní stůl, vpravo - deska traverzy [4].	33

Obrázek 5-3: Příčný řez lisem [4] .....	34
Obrázek 5-4: Kleště kovacího manipulátoru.....	35
Obrázek 5-5: DEFORM simulace - rozložení napětí v tvářeném kuse.....	36
Obrázek 5-6: Graf znázorňující zatížení kovadel pro jednotlivé materiály .....	37
Obrázek 6-1: Znázornění varianty A, vlevo - kinematické schéma, vpravo - zjednodušený model.....	39
Obrázek 6-2: Velikost pracovního prostoru přípravku varianty A .....	40
Obrázek 6-3: Znázornění varianty B, vlevo - kinematické schéma, vpravo - zjednodušený model.....	41
Obrázek 6-4: Znázornění varianty C, vlevo - kinematické schéma, vpravo - zjednodušený model.....	44
Obrázek 6-5: Silové účinky působící na uvolněný držák kovadla .....	44
Obrázek 6-6: Silové účinky působící na uvolněné vahadlo .....	45
Obrázek 6-7: Znázornění varianty D, vlevo - kinematické schéma, vpravo - zjednodušený model.....	47
Obrázek 6-8: Silové účinky působící na uvolněný klín .....	48
Obrázek 6-9: Určení šířky přípravku .....	50
Obrázek 6-10: Diagram vzájemné konstrukční konkurenceschopnosti variant.....	52
Obrázek 7-1: Zjednodušené silové zatížení přípravku .....	54
Obrázek 7-2: Silové účinky působící na uvolněný klín zahrnující tření .....	54
Obrázek 7-3: Silové účinky působící na uvolněné tělo.....	55
Obrázek 7-4: Určení působiště normálových sil od klínu.....	56
Obrázek 7-5: Náhrada vetknutým nosníkem.....	57
Obrázek 7-6: Výčet dále řešených konstrukčních uzlů.....	59
Obrázek 7-7: Vyměnitelné kluzné desky vložené mezi klíny a hlavní těla .....	60
Obrázek 7-8: Vektory rychlostí základních pohyblivých součástí přípravku .....	61
Obrázek 7-9: Kluzná deska z bronzu s vsazeným tuhým mazivem [9] .....	61
Obrázek 7-10: Detail zajištění klínů lištami.....	63
Obrázek 7-11: Kluzné desky upevněné ke klínu.....	63
Obrázek 7-12: Využití vodících lišt pro zpětný pohyb klínů .....	64
Obrázek 7-13: Použití příložek pro zpětný pohyb klínu - varianta D1B .....	65
Obrázek 7-14: Použití příložek pro zpětný pohyb klínu - varianta D1C .....	66
Obrázek 7-15: Výsledné řešení zpětného pohybu klínů.....	67
Obrázek 7-16: Uchycení kovadel pomocí klínů - varianta D2A.....	68
Obrázek 7-17: Uchycení kovadel třmeny - varianta D2B.....	69
Obrázek 7-18: Uchycení kovadel excentrickými upínači - varianta D2C .....	70

Obrázek 7-19: Výsledné řešení upínání kovadel.....	71
Obrázek 7-20: Mazání kluzných desek .....	72
Obrázek 7-21: Mazání příložek.....	72
Obrázek 7-22: Úprava uložení kovadel.....	73
Obrázek 7-23: Úpravy pro lepší odvod nečistot.....	73
Obrázek 7-24: Dorazové a aretační prvky přípravku přidat popisky .....	74
Obrázek 7-25: Model vstupující do MKP simulace rozdělený na segmenty .....	75
Obrázek 7-26: Ukázka sítě modelu .....	76
Obrázek 7-27: Rozložení napětí von Miseses v tvářeném kuse v MPa.....	78
Obrázek 7-28: Rozložení napětí von Miseses v samotném přípravku v MPa.....	79
Obrázek 7-29: Průběh napětí von Miseses v horním těle v MPa.....	80
Obrázek 7-30: Celkové posunutí horního těla v mm .....	80
Obrázek 7-31: Průběh napětí von Miseses ve spodním těle v MPa.....	81
Obrázek 7-32: Celkové posunutí spodního těla v mm .....	81
Obrázek 7-33: Průběh napětí von Miseses v klínu v MPa.....	82
Obrázek 8-1: Porovnání velikostí kovadel z jednotlivých sad.....	83
Obrázek 8-2: Základní části držáku pro výměnu kovadel.....	84
Obrázek 8-3: Držák se založenými kovadly .....	84
Obrázek 8-4: Výměna sady kovadel .....	85
Obrázek 10-1: Výsledný návrh přípravku pro kování.....	87

## Seznam tabulek

Tabulka 4-1: Technické specifikace a modely radiálních kovacíh zařízení [12] .....	31
Tabulka 6-1 - Hodnocení variant .....	52
Tabulka 7-1 - Definované materiálové vlastnosti konstrukčních součástí.....	76
Tabulka 7-2 - Definované materiálové vlastnosti tvářeného kusu .....	77
Tabulka 7-3: Zatížení kovadel.....	78
Tabulka 8-1 - Rozsahy průchodnosti tvářecího prostoru přípravku.....	83
Tabulka 9-1: Náklady na výrobu přípravku .....	86

## Seznam příloh

Příloha 1 – C-013-06\_CTKO-001 – výkres sestavy

Příloha 2 – C-013-06\_CTKO-100 – výrobní výkres horního těla

## Software

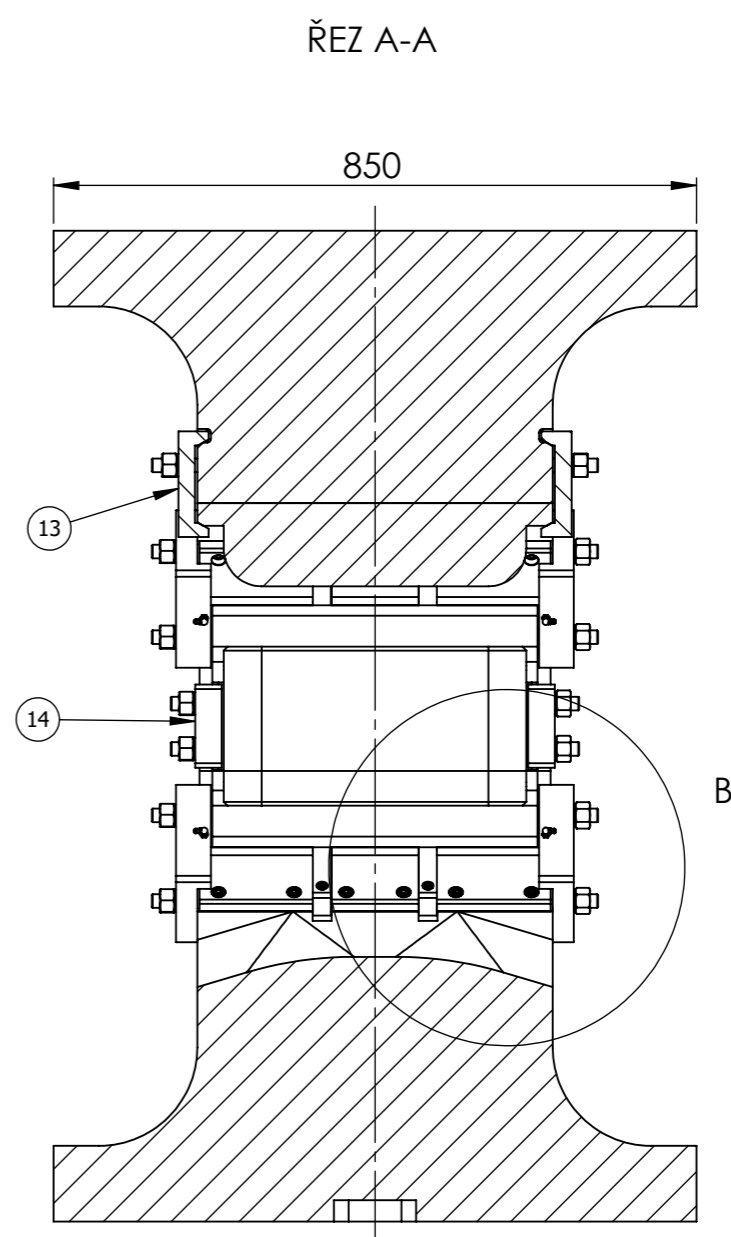
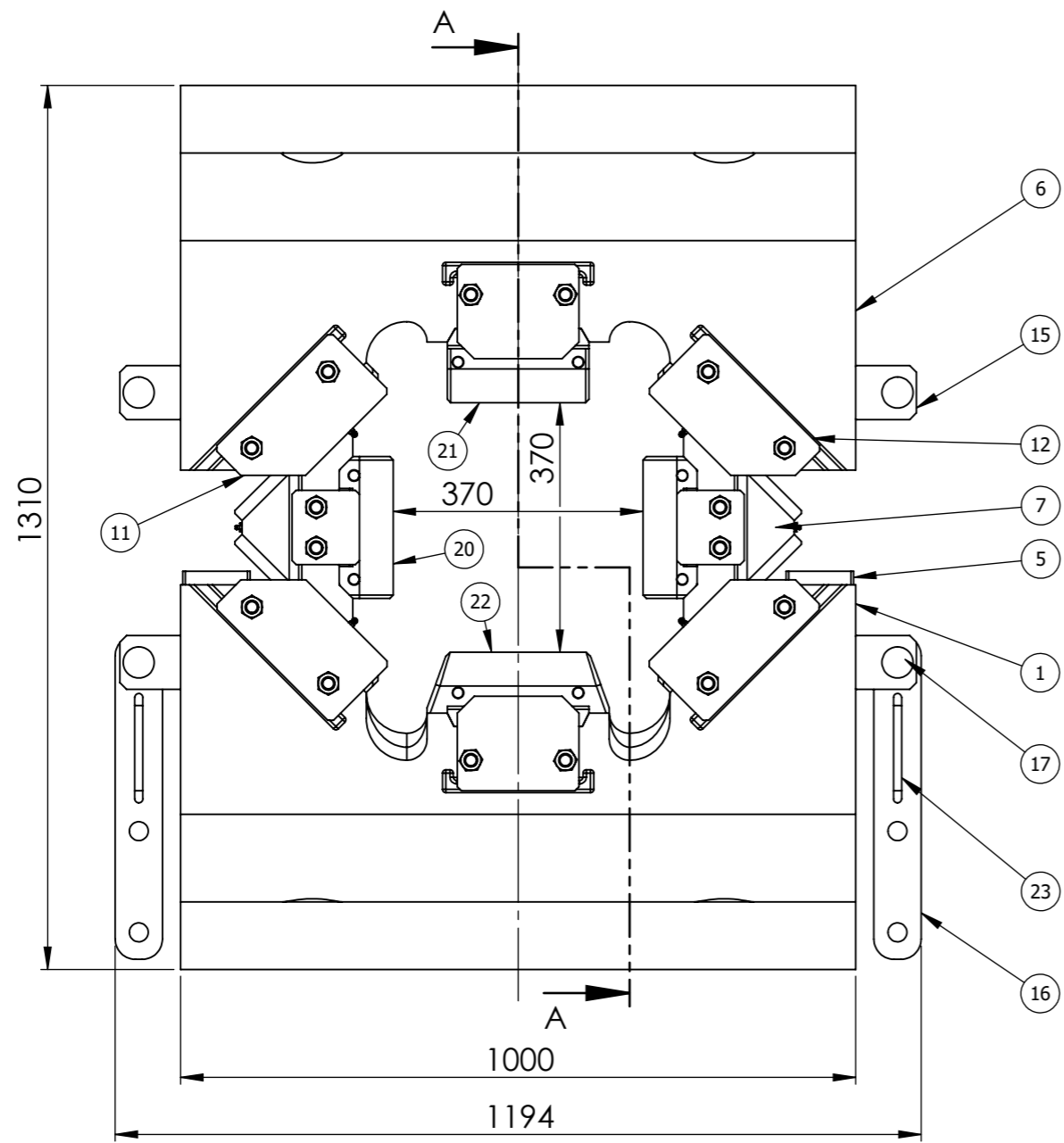
Při tvorbě práce byly použity následující programy:

Abaqus CAE 2020

DEFORM v12.0

Microsoft Office 365 - Word 2016, Excel 2016

SOLIDWORKS 2018



Neoznačené hrany <b>ISO 13715</b> 	<b>Přesnost ISO 2768</b> mK	<b>Tolerance ISO 8015</b> Yes	<b>Promítání</b> 	List 1 z 3 <b>A3</b>
	<b>JMÉNO</b> jpompl	<b>PODPIS</b>	<b>DATUM</b> 11.05.2021	<b>MĚŘÍTKO</b> 1:10
<b>KRESLIL</b> jpompl	<b>ZMĚNIL</b> jpompl	<b>SCHVÁLIL</b>	<b>HMOTNOST:</b> 4606.47 kg	<b>KUSŮ:</b> 1
<b>POLOTOVAR:</b> <b>MATERIÁL:</b> <b>REVIZE:</b>				

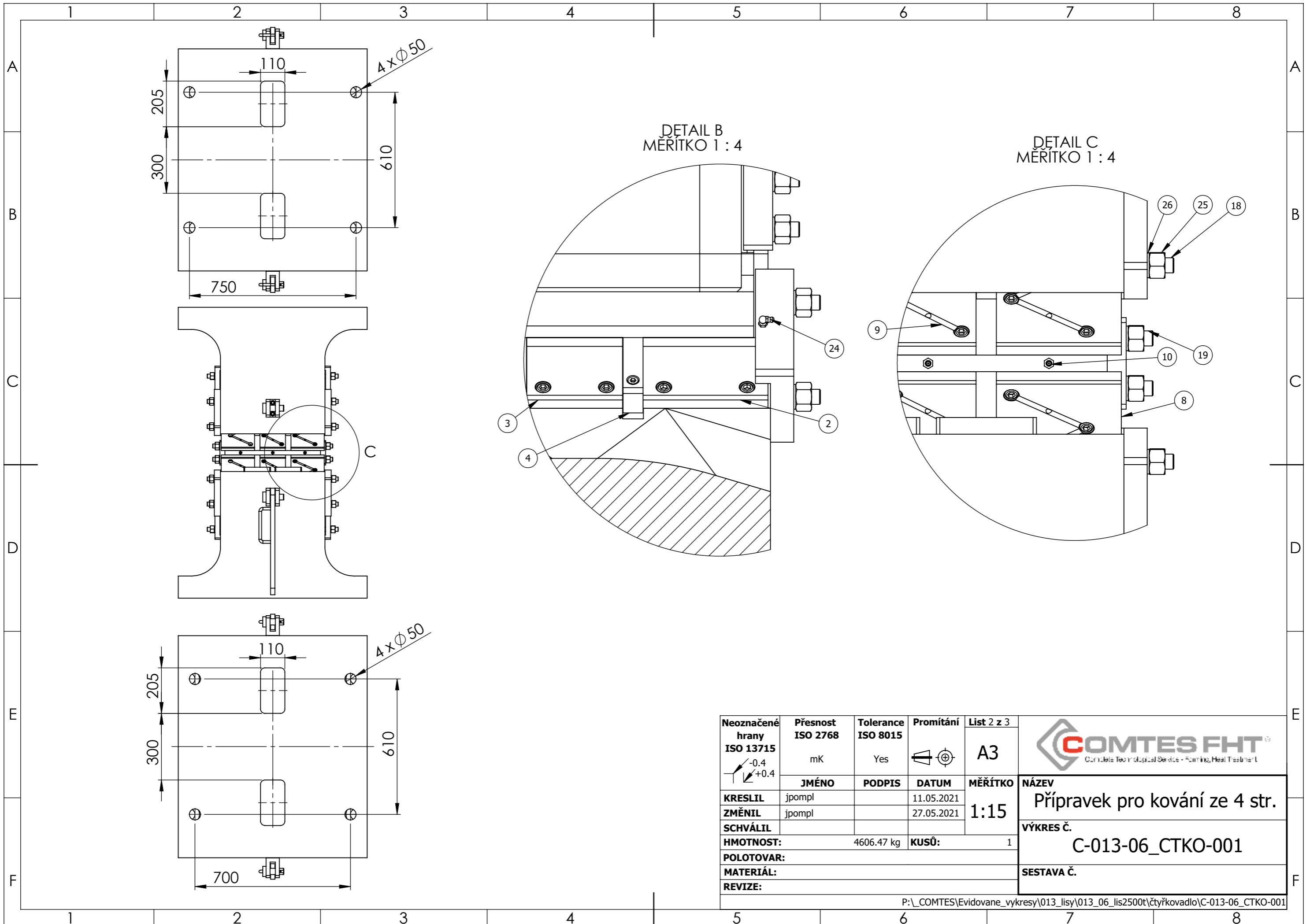


**NÁZEV**  
 Přípravek pro kování ze 4 str.

**VÝKRES Č.**  
 C-013-06\_CTKO-001

**SESTAVA Č.**





DETAIL B  
MĚŘITKO 1 : 4

DETAIL C  
MĚŘITKO 1 : 4

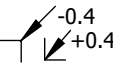
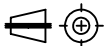

Neoznačené hrany ISO 13715 -0.4 +0.4	Přesnost ISO 2768 mK	Tolerance ISO 8015 Yes	Promítání 	List 2 z 3 A3
	JMÉNO jpompl	PODPIS	DATUM 11.05.2021	MĚŘITKO 1:15
KRESLIL	jpompl		27.05.2021	
ZMĚNIL	jpompl			
SCHVÁLIL				
HMOTNOST:	4606.47 kg	KUSŮ:	1	
POLOTOVAR:				
MATERIÁL:				
REVIZE:				

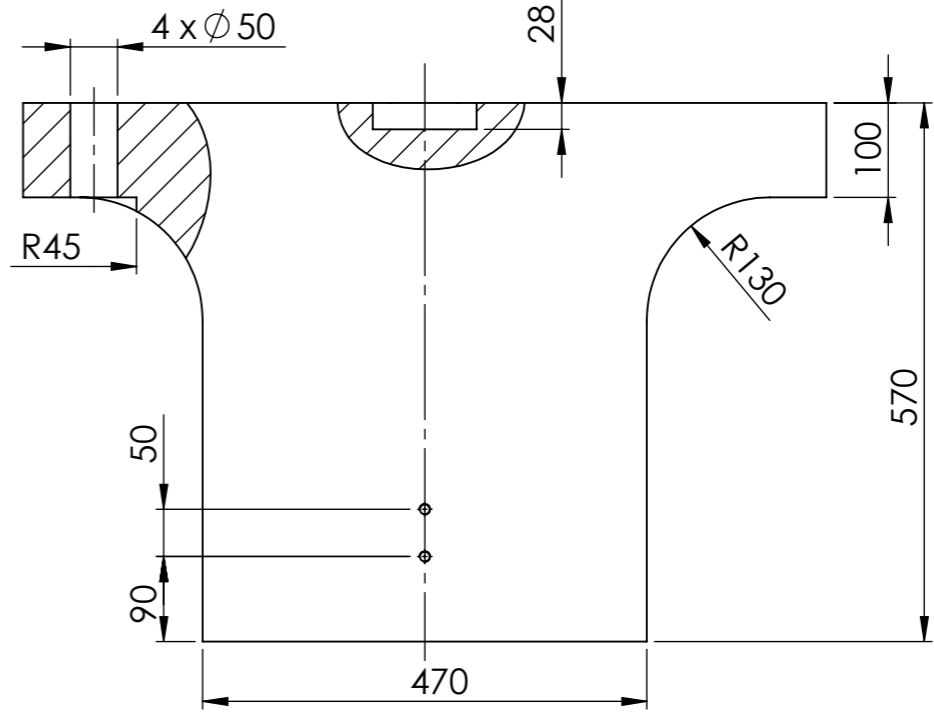
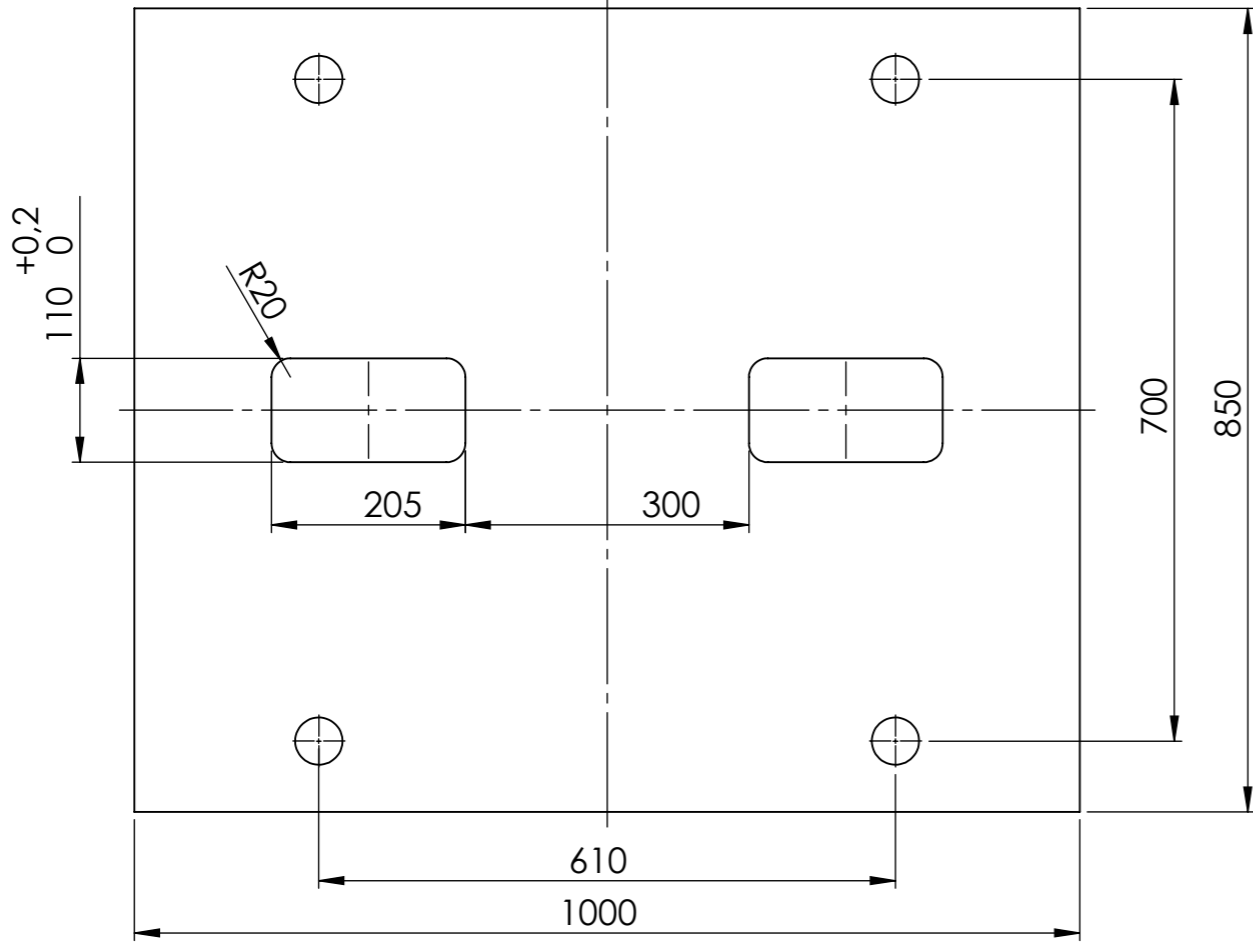
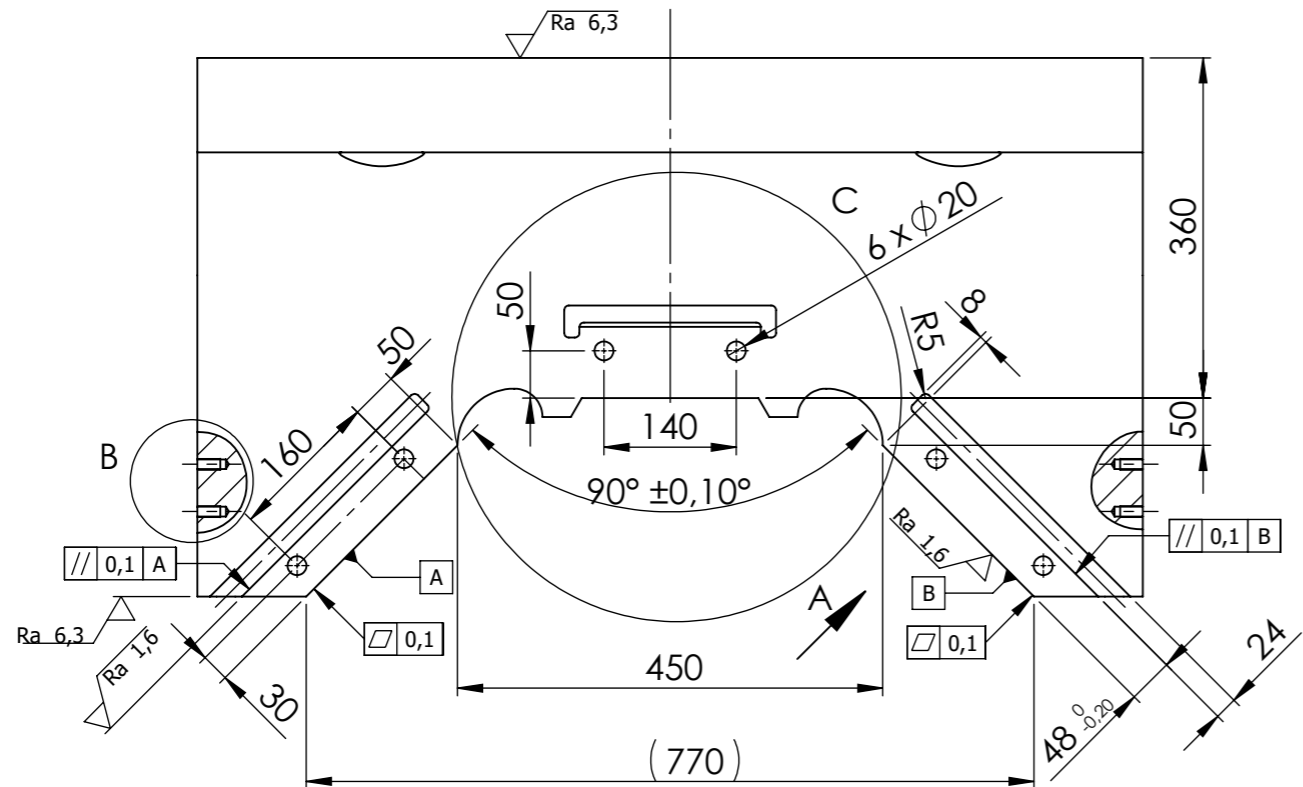


NÁZEV  
**Přípravek pro kování ze 4 str.**

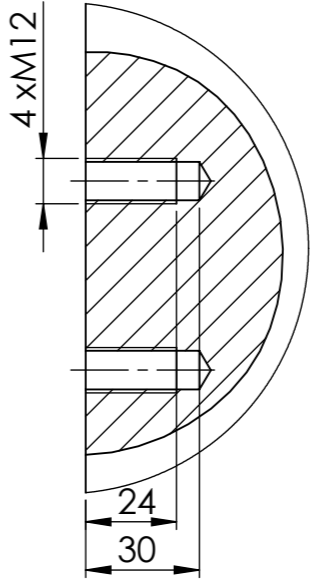
VÝKRES Č.  
**C-013-06\_CTKO-001**

SESTAVA Č.

	1	2	3	4		
A	Č. POLOŽKY	Č. DÍLU	POPIS	Množství Hmotnost		
	1	C-013-06_CTKO-101	Tělo spodní	1 1968.59		
	2	C-013-06_CTKO-103	Kluzná deska velká	8 4.37		
	3	C-013-06_CTKO-104	Kluzná deska malá	4 3.33		
	4	C-013-06_CTKO-109	Vodící lišta	8 1.43		
	5	C-013-06_CTKO-114	Dorazový blok	4 1.83		
B	6	C-013-06_CTKO-100	Tělo horní	1 1976.20		
	7	C-013-06_CTKO-102	Klín	2 84.13		
	8	C-013-06_CTKO-106	Kluzná deska velká maz.	8 4.33		
	9	C-013-06_CTKO-107	Kluzná deska malá maz.	4 3.30		
	10	DIN 71412_A10	Maznice kulová přímá	6 0.01		
	11	C-013-06_CTKO-110	Příložka klínu L	4 7.11		
	12	C-013-06_CTKO-111	Příložka klínu P	4 7.11		
C	13	C-013-06_CTKO-112	Třmen kovadel V	4 4.78		
	14	C-013-06_CTKO-113	Třmen kovadel H	4 1.76		
	15	C-013-06_CTKO-115	Aretační kostka	4 2.04		
	16	C-013-06_CTKO-116	Aretační pásovina	2 4.81		
	17	C-013-06_CTKO-117	Čep	5 0.57		
	18	C-013-06_CTKO-118	Svorník	12 1.17		
	19	C-013-06_CTKO-119	Svorník kovadla	4 1.07		
D	20	C-013-06_CTKO-130	Kovadlo boční sada1	2 50.03		
	21	C-013-06_CTKO-131	Kovadlo horní sada1	1 73.12		
	22	C-013-06_CTKO-132	Kovadlo spodní sada1	1 82.34		
	23	UWAN12-150-40	Madlo	2 0.20		
	24	DIN 71412_C6	Maznice kulová úhlová	8 0.01		
	25	ISO - 4034 - M20 - N	Matice M20	32 10.115		
	26	ISO 7091 - 20	Podložka M20	32 1.068		
E	Neoznačené hrany ISO 13715 	Přesnost ISO 2768 mK	Tolerance ISO 8015 Yes	Promítání 	List 3 z 3 A4	 <b>COMTES FHT</b> <small>Complete Technological Service - Forming, Heat Treatment</small>
	KRESLIL ZMĚNIL SCHVÁLIL	JMÉNO PODPIS	DATUM	MĚŘÍTKO	NÁZEV	
	HMOTNOST: POLOTOVAR: MATERIÁL: REVIZE:	4606.47 kg	KUSŮ:	1	Přípravek pro kování ze 4 str. VÝKRES Č. C-013-06_CTKO-001 SESTAVA Č.	
F						



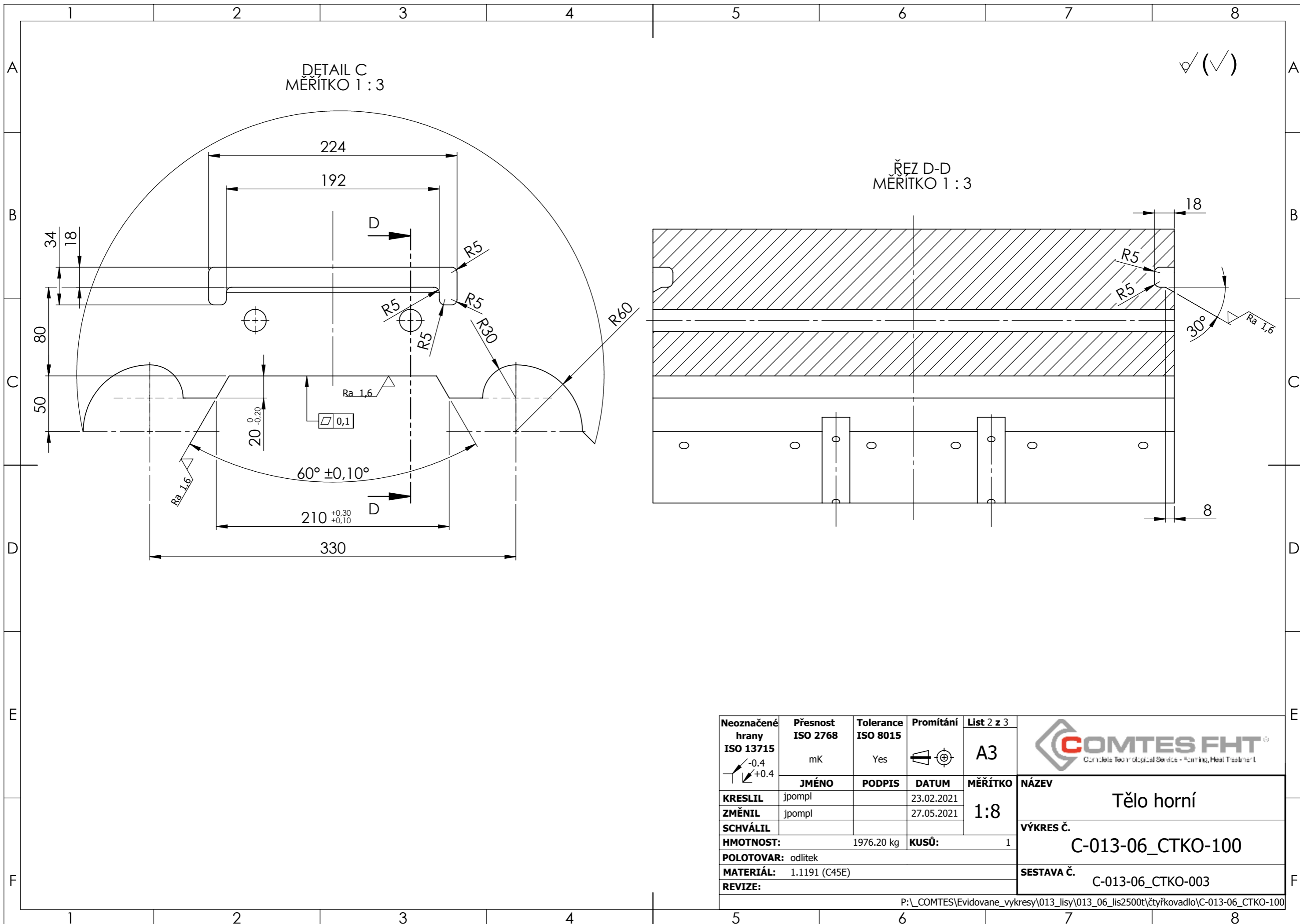
DETAIL B  
MĚŘITKO 1 : 2



Neoznačené hrany ISO 13715 -0.4 +0.4	Přesnost ISO 2768 mK	Tolerance ISO 8015 Yes	Promítání ☉	List 1 z 3 A3
	JMÉNO jpompl	PODPIS	DATUM 23.02.2021	MĚŘITKO 1:8
ZMĚNIL jpompl			27.05.2021	
SCHVÁLIL				
HMOTNOST:	1976.20 kg	KUSŮ:	1	
POLOTOVAR:	odlitek			
MATERIÁL:	1.1191 (C45E)			
REVIZE:				



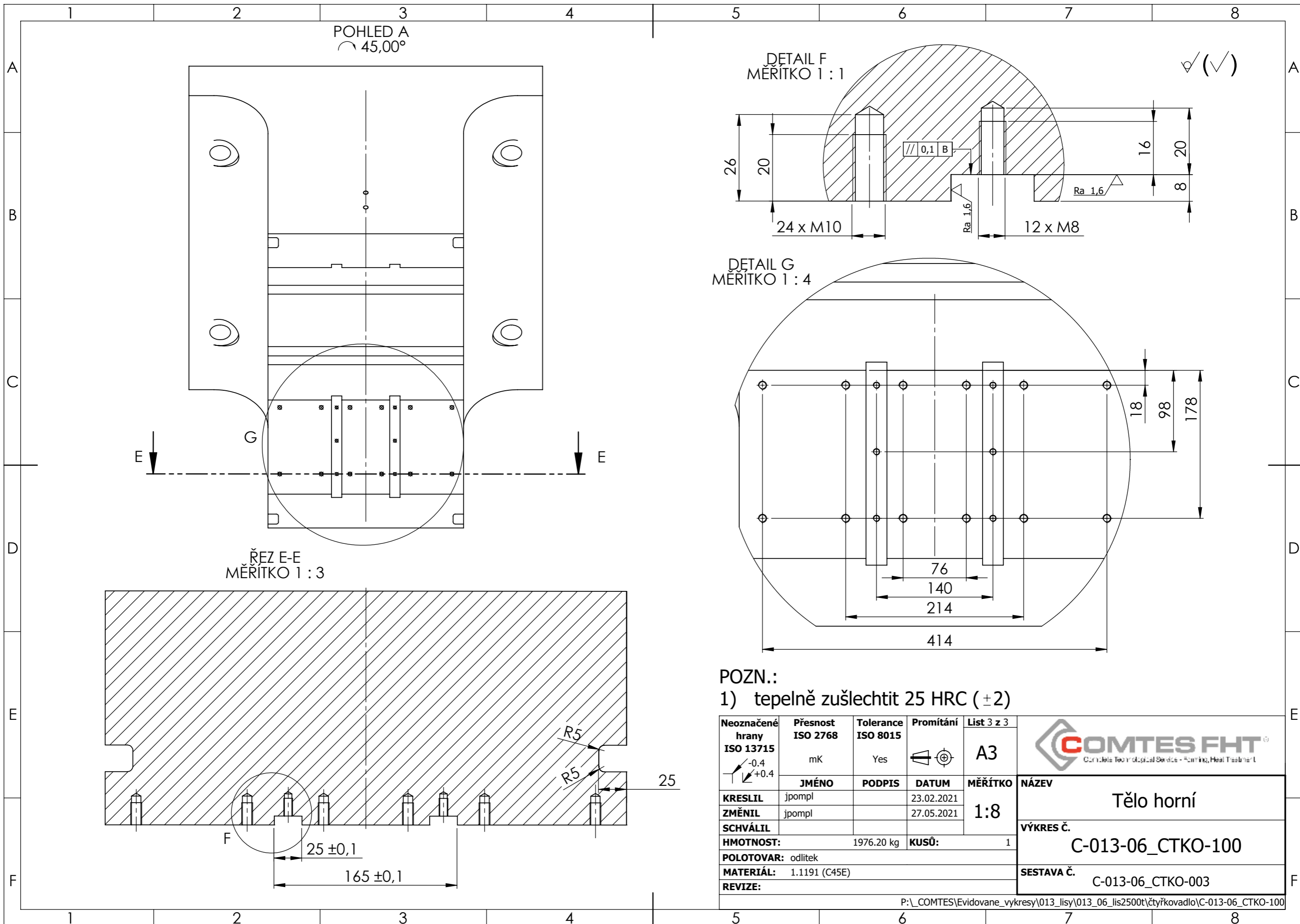
NÁZEV Tělo horní
VÝKRES Č. C-013-06_CTKO-100
SESTAVA Č. C-013-06_CTKO-003



DETAIL C  
MĚRITKO 1 : 3

ŘEZ D-D  
MĚRITKO 1 : 3

Neoznačené hrany ISO 13715 -0,4 +0,4	Přesnost ISO 2768 mK	Tolerance ISO 8015 Yes	Promítání 	List 2 z 3 A3	 Complete Technical Service - Forming, Heat Treatment
	JMÉNO jpompl	PODPIS	DATUM 23.02.2021	MĚRITKO 1:8	
KRESLIL jpompl			27.05.2021		VÝKRES Č. C-013-06_CTKO-100
SCHVÁLIL					SESTAVA Č. C-013-06_CTKO-003
HMOTNOST: 1976.20 kg		KUSŮ: 1			
POLOTOVAR: odlitek		MATERIÁL: 1.1191 (C45E)			
REVIZE:					



POZN.:  
1) tepelně zušlechtit 25 HRC (±2)

Neoznačené hrany ISO 13715 -0,4 +0,4	Přesnost ISO 2768 mK	Tolerance ISO 8015 Yes	Promítání ☞ ⊕	List 3 z 3 A3
	JMÉNO	PODPIS	DATUM	MĚŘITKO
KRESLIL	jpompl		23.02.2021	1:8
ZMĚNIL	jpompl		27.05.2021	
SCHVÁLIL				
HMOTNOST: 1976.20 kg		KUSŮ: 1		
POLOTOVAR: odlitek				
MATERIÁL: 1.1191 (C45E)				
REVIZE:				



NÁZEV	Tělo horní
VÝKRES Č.	C-013-06_CTKO-100
SESTAVA Č.	C-013-06_CTKO-003