

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: Stavba výrobních strojů a zařízení

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Konstrukční varianty posuvu stolů u hydraulických lisů

Autor: **Jan Semerád**

Vedoucí práce: **Ing. Miroslav Duník**

Akademický rok 2011/2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan SEMERÁD**  
Osobní číslo: **S11B0028K**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**  
Název tématu: **Konstrukční varianty posuvu stolů u hydraulických lisů**  
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Cílem práce je vypracování rešerše možných konstrukčních uspořádání posuvů stolů u kovacích hydraulických lisů a stanovení obecného výpočtového postupu pro konstrukci. Následně se pak požaduje vypracování konstrukčního návrhu posuvu stolu pro konkrétní zadané parametry.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Vypracování rešerše na dané téma dle zadání, zhodnocení konstrukčních variant a optimalizovaný výběr.
2. Vypracování konstrukčního návrhu s výpočty pro zvolenou optimální variantu pro konkrétní zadání.
3. Zhotovení výrobního výkresu dle zadání.
4. Kompexní zhodnocení práce.
5. Závěr.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

**STANĚK, J.** *Základy stavby výrobních strojů, Tvářecí stroje.* Plzeň: **Západočeská univerzita v Plzni, 2004**

**ČECHURA, M., STANĚK, J.** *Tvářecí stroje, Hydraulické lisy.* Plzeň: **Západočeská univerzita v Plzni, 1999**

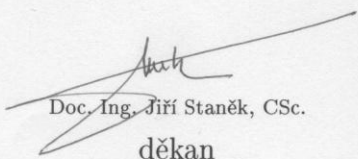
**MICHEJEV, V. A.** *Hydraulické lisy.* Praha: **Státní nakladatelství technické literatury, 1956**

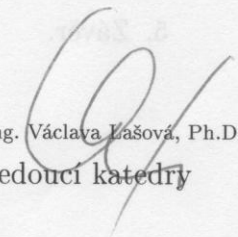
*Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.*

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Miroslav Duník**  
Katedra konstruování strojů  
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Miroslav Duník**  
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2011**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **25. května 2012**



  
Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.  
děkan

  
Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2011

## **Prohlášení o autorství**

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

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

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

# ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Semerád	Jan
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	Stavba výrobních strojů a zařízení	
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	Ing. Duník	Miroslav
<b>PRACOVIŠTĚ</b>	ZČU - FST - KKS	
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Konstrukční varianty posuvu stolů u hydraulických lisů	

<b>FAKULTA</b>	Strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2012
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

## POČET STRAN

<b>CELKEM</b>	52	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	52	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	-
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<b>STRUČNÝ POPIS</b>	<p>Cílem práce je vypracování rešerše možných konstrukčních uspořádání posuvů stolů u kovacích hydraulických lisů, zhodnocení a optimalizovaný výběr nejvhodnější varianty z hlediska zvolených parametrů. Dále stanovení obecného výpočtového postupu základních variant pro konkrétní zadání. Následně pak vypracování konstrukčních návrhů posuvu stolu pro konkrétní zadané parametry a prostorové vymodelování všech variant.</p>
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>	Hydromotor, plunžr, pístnice, válec, lis, kovací deska, kovadlo

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Semerád	Jan
<b>FIELD OF STUDY</b>	Design of Manufacturing Machines and Equipment	
<b>SUPERVISOR</b>	Ing. Duník	Miroslav
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS	
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Design variants of tables motion of hydraulic presses	

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KKS	<b>SUBMITTED IN</b>	2012
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES

<b>TOTALLY</b>	52	<b>TEXT PART</b>	52	<b>GRAPHICAL PART</b>	-
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>	The aim of this work is the design of research for possible constructional structures of tables motions of hydraulic presses, to evaluate and optimized selection of the best option in terms of selected parameters. Further, to determine a general computational procedure of basic options for a specific assignment. Then to design of constructive projects for tables motions with specific parameters and 3D model of all variants.
<b>KEY WORDS</b>	Hydraulic motor, plunger, piston, cylinder, press, forging desk, anvil

## Obsah

Úvod .....	5
<b>1. Dějiny vývoje tvářecích strojů .....</b>	<b>5</b>
1.1. Historický vývoj bucharů a hydraulických lisů .....	5
<b>2. Základní princip hydrauliky .....</b>	<b>8</b>
<b>3. Rozdělení tvářecích strojů .....</b>	<b>9</b>
3.1. Základní dělení .....	9
3.2. Dělení podle druhu hnací energie pracovního ústrojí: .....	9
3.3. Dělení podle konstrukce a tvaru .....	10
3.4. Ostatní dělení .....	10
<b>4. Posuvy stolů hydraulických lisů .....</b>	<b>11</b>
4.1. Konstrukční varianta č. 1 .....	13
4.1.1. Výpočet konstrukční varianty č. 1 .....	14
4.1.1.1. Pohyblivé hmoty posuvu .....	15
4.1.1.2. Návrh hydromotoru (hydraulický válec) .....	16
4.1.1.3. Pevnostní kontrola jednotlivých dílů .....	17
4.1.1.3.1. Korekce rozměrů .....	24
4.1.1.3.2. Druhá korekce rozměrů .....	28
4.2. Konstrukční varianta č. 2 .....	37
4.2.1. Výpočet konstrukční varianty č. 2 .....	38
4.2.1.1. Pohyblivé hmoty posuvu .....	39
4.2.1.2. Návrh hydromotoru (hydraulický válec) .....	41
4.3. Konstrukční varianta č. 3 .....	44
4.3.1. Výpočet konstrukční varianty č. 3 .....	46
4.4. Hydraulické schéma .....	46
<b>5. Závěr .....</b>	<b>48</b>
<b>Poděkování .....</b>	<b>51</b>
<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>52</b>

## VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

Název výkresu	Druh výkresu	Číslo výkresu	Formát výkresu
SPODEK LISU 1	VÝKRES SESTAVY	KV1.01	A2
SPODEK LISU 2	VÝKRES SESTAVY	KV2.01	A2
SPODEK LISU 3	VÝKRES SESTAVY	KV3.01	A2
VÁLEC POSUVU	VÝKRES PODSESTAVY	KV1_005	A2
HYDRAULICKÝ VÁLEC	VÝROBNÍ VÝKRES	KV1_01_002	A2

## CD-ROM

Název souboru	Typ souboru	Obsah
BP_SEMERÁD_2011	Dokument *.pdf	Text bakalářské práce
PŘÍLOHY	Dokument *.pdf	Výkresy
OBRÁZKY	*.jpg, *.bmp	Obrázky použité v BP
CAD	*.iam, *.ipt, *.idw, *.dwg	Data modelů a výkresů



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1.1. Různé druhy mechanizovaných kladiv .....	6
Obr. 1.1.2. Vodní hamr .....	6
Obr. 1.1.3. Bramahův hydraulický lis .....	7
Obr. 1.1.4. Nasmythův parní buchar .....	8
Obr. 2.1. Spojené nádoby .....	9
Obr. 3.3.1. Otevřené stojany typu „C“ .....	10
Obr. 3.3.3. Naklápěcí tvářecí stroj .....	10
Obr. 3.3.2. Uzavřené stojany typu „O“ .....	10
Obr. 3.3.4. Šikmý tvářecí stroj .....	10
Obr. 4.1. Spodní část hydraulického lisu umístěného ve výrobní hale.....	11
Obr. 4.2. Řez sestavou hydraulického lisu ve výrobní hale .....	12
Obr. 4.3. Řez sestavou hydraulického lisu ve výrobní hale .....	12
Obr. 4.1.1. Sestava první konstrukční varianty posuvu stolu.....	13
Obr. 4.1.2. Bokorys první varianty posuvu stolu .....	13
Obr. 4.1.3. Sestava první konstrukční varianty posuvu stolu v řezu.....	14
Obr. 4.1.4. Pravá strana sestavy posuvu stolu v řezu .....	14
Obr. 4.2.1. Sestava druhé konstrukční varianty posuvu stolu .....	37
Obr. 4.2.2. Úprava rámu lisu pro uchycení plunžru .....	37
Obr. 4.2.3. Sestava druhé konstrukční varianty posuvu stolu v řezu .....	38
Obr. 4.2.4. Levá strana sestavy posuvu stolu v řezu .....	38
Obr. 4.3.1. Sestava třetí konstrukční varianty posuvu stolu.....	44
Obr. 4.3.2. Sestava třetí konstrukční varianty posuvu stolu.....	44
Obr. 4.3.3. Detail pohonu třetí varianty posuvu stolu v řezu .....	45
Obr. 4.3.4. Spojení pístu s pístnicí v hydraulickém válci.....	45
Obr. 4.4.1. Hydraulické schéma rozvodu pracovní kapaliny .....	47

## POUŽITÉ ZNAČKY A ZKRATKY

D	[m]	průměr
R	[m]	poloměr
F	[N]	síla
g	$[m \cdot s^{-1}]$	tíhové zrychlení
k	[-]	bezpečnost
M	[N·m]	moment síly
L	[m]	délka
m	[kg]	hmotnost
V	$[m^3]$	objem
S	$[m^2]$	obsah
R <sub>e</sub>	[MPa]	napětí na mezi kluzu
$\alpha$	[°]	úhlová výchylka
$\pi$	[m]	Ludolfovo číslo
$\sigma_D$	[MPa]	dovolené normálové napětí
$\tau_D$	[MPa]	dovolené tečné napětí
$\rho$	$[kg \cdot m^{-3}]$	hustota
f	[-]	součinitel smykového tření
p	[MPa]	tlak
M <sub>o</sub>	$[N \cdot mm^{-1}]$	ohybový moment
q	$[N \cdot mm^{-1}]$	spojité zatížení
y	[m]	průhyb
$\lambda$	[-]	štíhlost
$\sigma_{RED}$	[MPa]	redukované napětí

## Úvod

Tváření můžeme vysvětlovat jako provádění záměrné a trvalé změny tvaru materiálu (především kovu) působením mechanické síly, bez odběru třísek. Při tváření vzniká také odpad. Celistvý ve formě odstřížků a výronků a necelistvý ve formě okují. Materiál tváříme proto, abychom dali polotovarům nebo výrobkům námi požadovaný tvar, nebo abychom přeměnili u kovu jeho litou strukturu na tvářenou s cílem zlepšit mechanické vlastnosti polotovaru. Tvářecí stroje jsou tedy výrobní stroje, které zpracovávají materiál nebo polotovary ve výrobky aniž by se měnil objem polotovaru. Jsou to tedy stroje uzpůsobené pro zpracovávání materiálu tvářením za působením poměrně vysoké síly. Chceme-li změnit tvar materiálu, musíme na něj působit takovou silou, aby bylo buď v části, nebo v celém objemu součásti vyvozeno napětí, které je vyšší než mez kluzu materiálu.

Tvářecí stroj je zařízení, které zpracovává materiál za studena nebo s ohřevem a to mechanickým přetvořením základního materiálu. Při tváření za tepla dochází v materiálu k rekrytalizaci, naopak při tváření za studena při teplotách 20°C až 70°C nedochází v tvářeném materiálu k rekrytalizaci. [1]

## 1. Dějiny vývoje tvářecích strojů

Základní potřebou každé společnosti je materiální a hmotná výroba. Výroba materiálních statků přitom předpokládá lidskou práci, pracovní předmět a pracovní prostředky. Z pracovních prostředků mají největší význam výrobní nástroje. K nim se zařazují nejrůznější nástroje, kterých člověk používá při své pracovní činnosti. Počátek byl u hrubých kamenných nástrojů pralidí a v průběhu staletí se dostáváme až k moderním strojům. Úroveň vývoje výrobních nástrojů je měřítkem toho, jak společnost dokáže ovládat přírodu. Vývoj tvářecích strojů je zákonitě spjat s vývojem poznání a potřeb lidské společnosti. Jakmile lidstvo poznávalo kovy, začal si člověk osvojovat a postupně rozvíjet hutní technologie, to znamená kování a slévání, aby dokázal vyrobit kovový nástroj. Je to přirozený průběh. Vývoj se ubíral kupředu od nejjednodušších metod ručního kování, později byla využívána síla zvířat až po moderní tvářecí stroje. Ve středověku se začala fyzická práce lidí a zvířat postupně nahrazovat mechanickou silou, která byla získávána z energie vody a větru. [1, 2]

### 1.1. Historický vývoj bucharů a hydraulických lisů

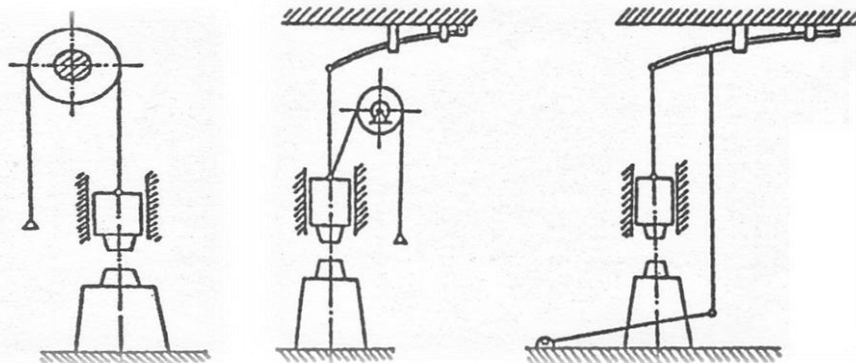
První tvářecí metodou, kterou se kov zpracovával, bylo jeho kování mezi kovadlinou a kladivem. K tváření se využívala kinetická energie kladiva, později bucharu, která byla předána do výkovku a tam se měnila na plastickou deformaci tvářeného kusu. Kování je řemeslo, kterým se člověk zabývá již od pravěku se snahou zhotovit zbraně, zemědělské nástroje, hospodářské a kuchyňské předměty, ozdoby a v neposlední řadě také šperky. První zmínky o takovémto způsobu tváření pochází již z Homérovy doby. [2]

Roku 350 př. n. l. došlo ve starém Řecku k prvnímu použití šroubových (vřetenových) lisů s ručním pohonem. Toto zařízení se používalo především k lisování vína a oleje, později také k tváření. Šroub se začal využívat jako prvek pro zvýšení síly. V tehdejší době byla ovšem obtížná výroba dřevěných závitů. [1]

Kolem roku 210 př. n. l. se fyzik Filón z Byzantia zabýval mechanikou tekutin a myšlenkou prvního čerpadla na vodu. Také se zabýval problematikou spojených nádob. [2]

Kolem roku 100 n. l. popisuje řecký matematik a mechanik Hérón z Alexandrie ve svém díle „Pneumatika“ první hydropneumatické systémy. Vyvinul nejdříve lisy na víno a ty se později upravovaly pro tvářeni. [1]

V 9. století je ke kování využíváno jednoduchých mechanizovaných kladiv s lanovody a kladkami (obr. 1.1.1.). Jedná se o klasické kování větších výkocvků. K tomu bylo třeba větších sil a tedy větších beranů, které vážily desítky kilogramů a kovář by je neuzvedl. Proto bylo využito kladek a listových pružin. [2]

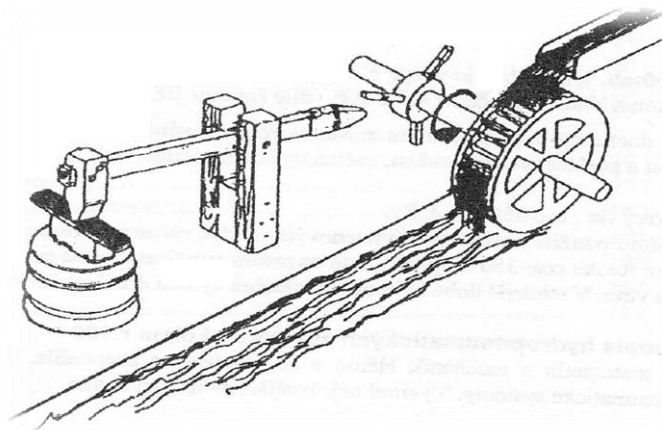


Obr. 1.1.1. Různé druhy mechanizovaných kladiv [2]

V 11. století se ve středověké Anglii začíná rozšiřovat snaha usnadnit si práci a využít vodní sílu. Vodní kola postupně začala pohánět vodní mlýny, železářské hamry, pily, stroje na tažení drátu. [1]

13. století bylo dobou vynálezu střelného prachu a vzniku palných zbraní. Koncem 13. století si tyto nástroje vynutily kovat větší, hmotnější kusy, a proto se muselo přistoupit ke změně způsobu kování. Ruční pýchování, které se doposud provádělo na menších výkocvkách, už nebylo na těchto kusech větších rozměrů zvládnutelné. Proto muselo dojít k modernizaci, tedy k mechanizaci ruční práce využitím energie přírodních zdrojů namísto těžké práce člověka. [2]

V 15. století se začínají objevovat mechanické buchary na primitivní úrovni, které byly poháněné vodou. Vzniká tzv. vodní hamr (obr. 1.1.2.). K dalšímu rozvoji bucharů došlo až při rozšíření vodní páry v průmyslu a později při rozšíření elektrické energie. Díky těmto pokrokům vznikaly nové typy bucharů, jako pružinové, padací deskové, padací řemenové, řetězové a lanové, parní, později pak i lisy mechanické zastoupené šroubovými a klikovými, poté lisy hydraulické. [2]

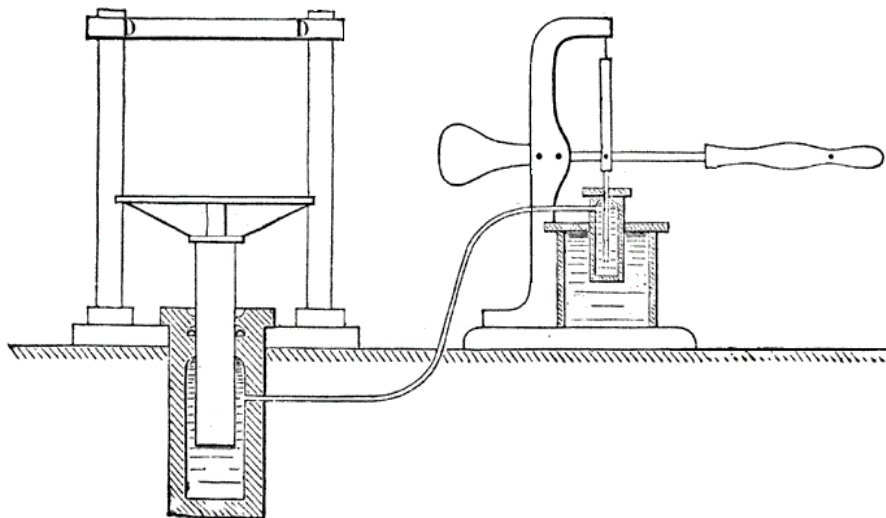


Obr. 1.1.2. Vodní hamr [2]

V roce 1728 zavedl Angličan John Payne s majorem Hanburym techniku válcování železného plechu. O 26 let později zavedl Angličan Henry Cort válcování profilového železa. Použil různě profilovaných válců ve válcovacích stolicích. Roku 1766 obdržel Angličan John Purnell patent na výrobu taženého válcovaného drátu. [1]

Dne 28. 4. 1784 patentoval James Watt parní stroj a objevují se také první konstrukce parních bucharů. [1]

V 18. století došlo k převratu ve vývoji tvářecích strojů. Pro pohon bylo využito hydrauliky. Nejznámější je anglický patent č. 2405, který byl udělen v roce 1795. Jednalo se o lis opatřený ručním čerpadlem (obr. 1.1.3.). Angličan Joseph Bramah vyšel z principu o rovnoměrném šíření tlaku v kapalinách, objeveným Blaisem Pascalem roku 1660. Velkou předností těchto hydraulických tlakových zařízení byla oproti mechanickým pákovým a šroubovým mechanismům možnost jejich snadného ovládní na dálku. Konstrukce těchto strojů zůstala zachována ve stejném nebo podobném provedení až do poloviny 19. století. [1]



Obr. 1.1.3. Bramahův hydraulický lis [3]

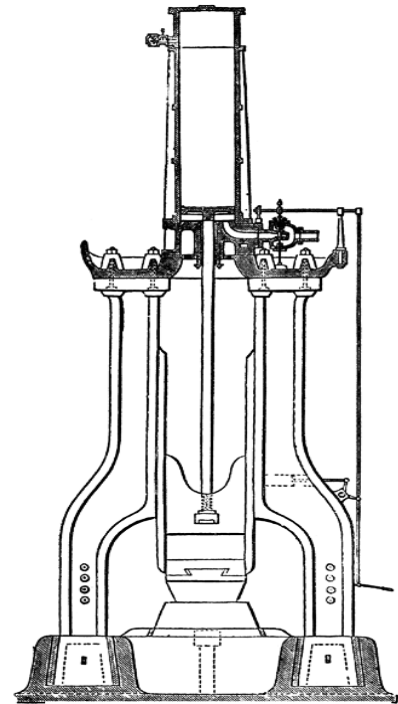
V roce 1839 postavil skotský nástrojář James Nasmyth první silný parní buchar (obr. 1.1.4.). Mnoho tun vážící beran zvedaný parním strojem a padající na základě vlastní tíhy se pohyboval v ose dvojitého vedení. Toto zařízení mělo největší význam při užití techniky zápusťkového kování. Buchar byl vyvinut díky nutnosti ukovat mohutnou lodní hřídel pro obří parník Great Britain, který se stavěl v roce 1845. Nasmythův parní buchar byl využit v továrně Schneider-Creusot. [1]

16. 9. 1861 uvedl do provozu Essenský podnikatel Alfred Krupp velký parní buchar „Fritz“, který byl ve své době považován za technický div. Beran se zvedal parním mechanismem a měl hmotnost 30 tun a později dokonce 50 tun. Beranu byla při pádu dodávána přídatná energie pomocí páry. Stroj sloužil 50 let. Beran padal na kovadlinu, která se mohla přizpůsobit požadovanému tvaru výkovku. [2]

Roku 1928 postavila firma Krupp v Essenu největší hydraulický kovací lis na světě. Jednalo se o konstrukční variantu se třemi pracovními válci umístěnými v horní traverze o síle 150 MN, což je 15 000 tun. Sloužil především pro výrobu vysokotlakých nádob pro chemický průmysl. Používal se ke zpracování bloků oceli do hmotnosti 300 tun. Tento stroj v podstatě navazuje na vynález Josepha Bramaha z roku 1795. [2]

Roku 1951 byl v Německu postaven hydraulický lis o síle 300 MN a později byly provedeny modely lisů o síle 500 MN a 750 MN. [2]

V letech 1971 až 1973 byl proveden na Vysoké škole strojní a elektrotechnické v Plzni ve spolupráci s TS Škoda Plzeň konstrukční návrh lisu o síle 1 000 MN při tlaku pracovní kapaliny 50 MPa. Toto konstrukční řešení bylo později realizováno firmou Uralmaš v Rusku, avšak při snížení pracovního tlaku na 32 MPa a celkové pracovní síly na 750 MN. Od této chvíle se konstruktéři zabývali myšlenkami zkonstruovat lis o síle až do 5 000 MN. [1]



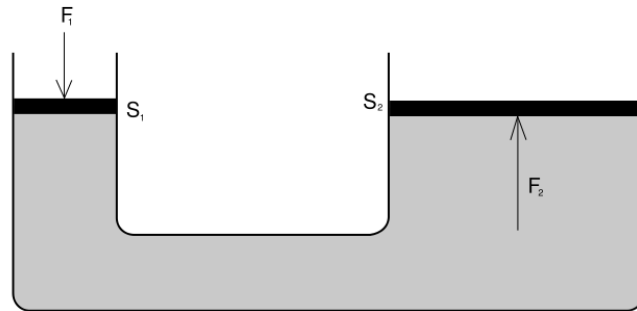
Obr. 1.1.4. Nasmythův  
parní buchar [4]

V současné době si hydraulické lisy vydobily v tvářecích technologiích monopolní místo, protože v určitých technologiích jsou zcela nezastupitelné, zvláště pokud se jedná o kování velice rozměrných a hmotných výkovek. Ovšem limitující v současné době není velikost hydraulického lisu, ale zhotovení potřebně velkého polotovaru - ingotu, ze kterého je výkovek kován. [1]

Vývoj tvářecích strojů naznačuje, že potřeby a nároky lidstva se stále zvyšují. S tím se zvětšují také výrobky a tedy i výkovek a úměrně k tomuto vývoji jsou navrhovány stroje. V dnešní době není problematické vyvinout vysoké tvářecí síly potřebné k plastické deformaci tvářeného kusu, ale problémem je manipulace s takto těžkými výkovek. Dnešní hydraulické lisy jsou tedy řešeny tak, že mají posuvný stůl, na kterém je umístěn výkovek. Toto zařízení umožňuje snadnou manipulaci s výkovek. Pro pohon posuvů stolů je využíváno hydromotorů pracujících na základním principu hydrauliky.

## 2. Základní princip hydrauliky

Kapaliny mají výjimečné vlastnosti. Je to především jejich malá stlačitelnost, šíření tlaku všemi směry a další. Proto se ukázalo výhodné používat kapaliny k pohonům strojů. Výborně odpovídají moderním požadavkům na poháněcí a řídicí systémy především u výrobních strojů. U tvářecích strojů využíváme pro násobení síly, nebo akumulaci energie zákonů hydromechaniky. Hydraulické lisy využívají především principu Pascalova zákona. Tento zákon pojednává právě o šíření tlaku v kapalinách všemi směry. To znamená, že působíme-li v uzavřených nádobách (obr. 2.1.) na píst o malé ploše  $S_1$  silou  $F_1$ , vznikne v uzavřené kapalině tomu odpovídající tlak  $p$ , který, působí-li na píst o větší ploše  $S_2$ , a zvedá jej silou  $F_2$ , větší než je síla  $F_1$ , a to v poměru ploch  $S_2/S_1$ . Uzavřené nádoby jsou u hydraulických lisů spojené hydraulické válce. [2]



Obr. 2.1. Spojené nádoby [10]

Vyjádríme-li výše uvedené rovnici, mluvíme o hydraulickém převodu:

$$\begin{aligned} S_1 \cdot p &= F_1 \\ S_2 \cdot p &= F_2 \end{aligned}$$

Potom z výše uvedené závislosti platí:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1 \cdot p}{S_2 \cdot p} = \frac{S_1}{S_2} \quad \Rightarrow \quad F_2 = F_1 \cdot \frac{S_2}{S_1}$$

Tohoto poznatku se s úspěchem využívá při potřebě vyvodit velké síly u hydraulických lisů. V praxi to znamená, že plunžrem, nebo pístem čerpadla o malé ploše stlačujeme kapalinu v uzavřeném hydraulickém systému a na velké ploše plunžru, nebo pístu dostáváme větší sílu, danou poměrem ploch. Tímto způsobem je možno dosáhnout při zachování jednoduché konstrukce a malých rozměrů stroje velkých sil. Tento poznatek lze využít jak u pohonů kovádel určených k tváření, tak také u pohonů stolů hydraulických lisů. [2]

### 3. Rozdělení tvářecích strojů

#### 3.1. Základní dělení

- lisy – stroje pracující převážně tlakem pracovní části – beranu, která koná obvykle přímočarý pohyb vratný a je trvale spojena s hnacím ústrojím
- buchary – stroje pracující rázem beranu, který koná přímočarý pohyb vratný a je od hnacího ústrojí v okamžiku práce uvolněn nebo je s ním spojen pružně případně třením
- rotační (válcovací) stroje – stroje s pohybem nástrojů otáčivým, nebo po části kruhové dráhy [2]

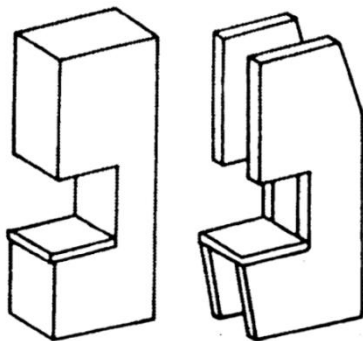
#### 3.2. Dělení podle druhu hnací energie pracovního ústrojí:

- mechanické – tvářecí síla je přiváděna z energetického zdroje mechanicky – pákou, klikou, koleny, vřetenem, hřebenem, vačkou, pružinou, válci, kladkami atd.
- hydraulické – tvářecí síla je přiváděna z energetického zdroje tlakem kapaliny
- parní – pracovní energie se vyvozuje přiváděnou tlakovou parou
- pneumatické – pracovní energie se vyvozuje tlakovým vzduchem z cizího zdroje

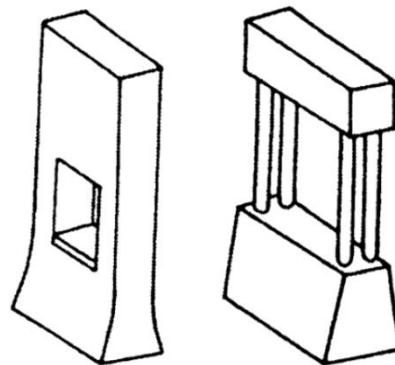
- kompresorové - pracovní energie se vyvozuje tlakovým vzduchem z kompresoru, který je nedílnou částí vlastního stroje
- elektromagnetické – beranu je udělována pohybová energie elektromagnetem
- ruční, nožní – tvářecí síla je nepřímo vyvozena působením lidské síly
- ostatní – výbušné, elektrickou kapacitou atd. [2]

### 3.3. Dělení podle konstrukce a tvaru

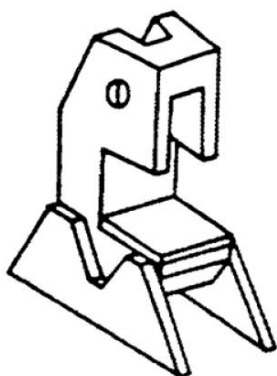
Podle uspořádání stroje dělíme tvářecí stroje na svislé, vodorovné, šikmé, úhlové, naklápěcí, sdružené a jiné. Podle tvaru stojanu (rámu) máme stroje jedno stojanové otevřené (stojan „C“), dvoustojanové otevřené (stojan „CC“), dvoustojanové uzavřené (stojan „O“), sloupové, mostové, stolní a jiné. [2]



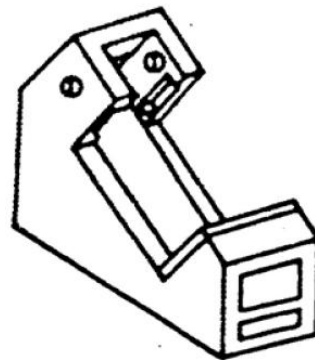
Obr. 3.3.1. Otevřené stojany typu „C“ [5]



Obr. 3.3.2. Uzavřené stojany typu „O“ [5]



Obr. 3.3.3. Naklápěcí tvářecí stroj [5]



Obr. 3.3.4. Šikmý tvářecí stroj [5]

### 3.4. Ostatní dělení

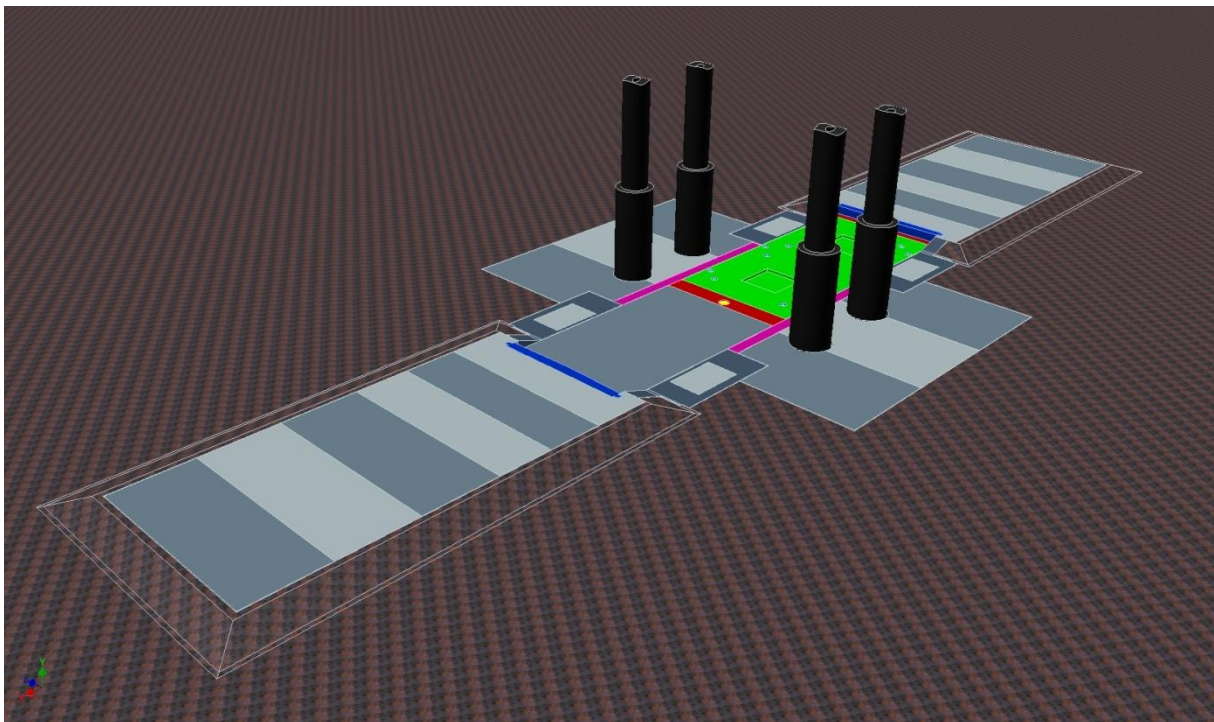
- Podle počtu hlavních pracovních částí se staví stroje jednočinné, dvojčinné, trojčinné, víceberanové a jiné.
- Podle způsobu přenosu síly na hlavní beran jsou stroje jednobodové, dvoubodové, třibodové, čtyřbodové a lisy vícebodové.



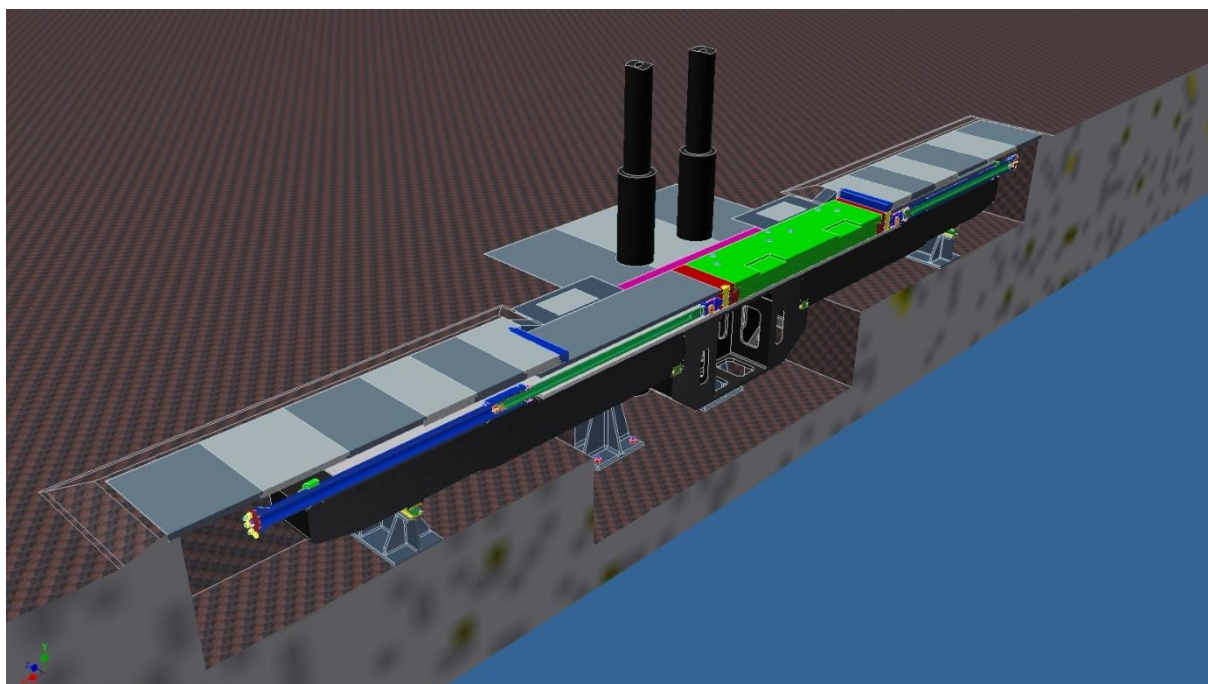
- Podle druhu tváření, užití a účelu máme lisy děrovací, ostříhovací, ohraňovací, ohýbací, protlačovací, vytlačovací, razící, protahovací, lámací, montážní, rovnací, tažné, kovací, pěchovací, paketovací, napínací, na plastické hmoty, na lamináty, pro lisování práškových kovů, pro lití pod tlakem a další.
- Podobně máme buchary pro volné kování, pro zápusťkové kování, vyklepávání, redukovací, osazovací a další.
- Samostatnou skupinu tvoří nůžky – tvářecí stroje uzpůsobené pro dělení, stříhání materiálu. Pohon mohou mít mechanický nebo hydraulický s přímočarým vratným pohybem nebo rotační, a podle užití je dělíme na nůžky pro hrany, sochory, profily, tabulové na plech, ostříhovací, kmitavé, šrotovací, s kruhovými noži, letmé a další. [2]

#### 4. Posuvy stolů hydraulických lisů

Posuv stolu zajišťuje pohyb výkovku pod horním kovádlem, u velkých lisů ve dvou směrech zpravidla v jedné ose. Z konstrukčního hlediska je posuv stolu velmi obtížnou a problematickou otázkou. Musíme zde zajistit funkčnost a tuhost zařízení s dostatečnou účinností a to vše při velkých rozměrech a hmotnostech celého stolu s výkovkem. Stůl se po rámu stroje pohybuje buď pomocí odvalování válečků, kde se jedná o čárový styk mezi stolem a rámem, nebo pomocí posuvu po speciálně upraveném loži. V praxi se využívá kombinace výše zmíněných druhů. Nesmíme ale opomenout mazání dotkových ploch, aby nedošlo k zadírání stolu. Posuv stolu zajišťují zpravidla hydromotory a řeší se v několika variantách.

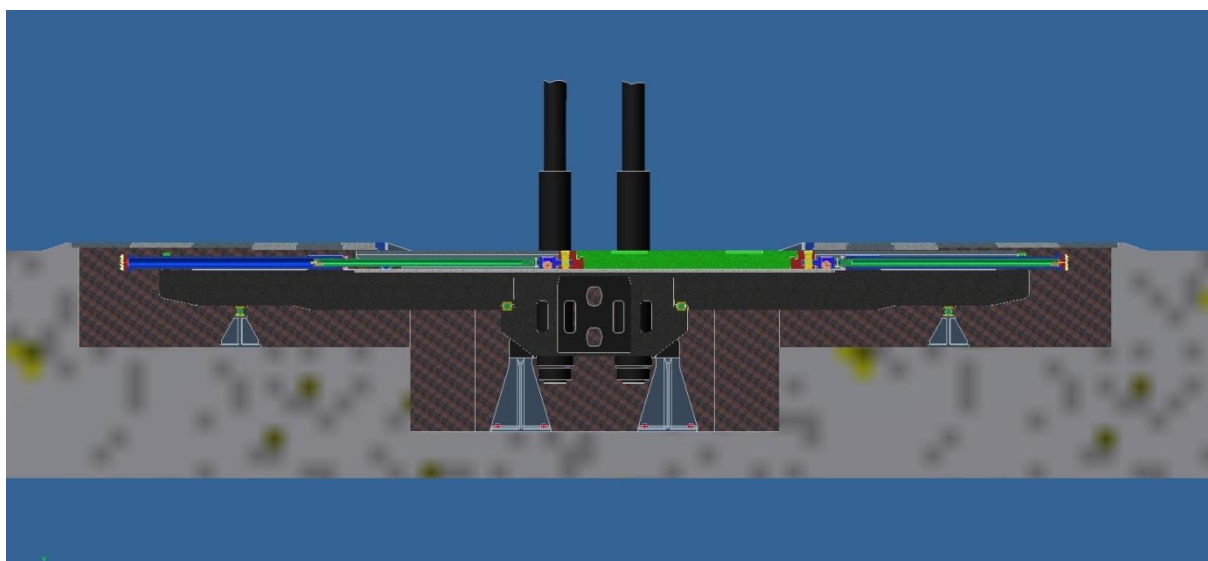


Obr. 4.1. Spodní část hydraulického lisu umístěného ve výrobní hale



Obr. 4.2. Řez sestavou hydraulického lisu ve výrobní hale

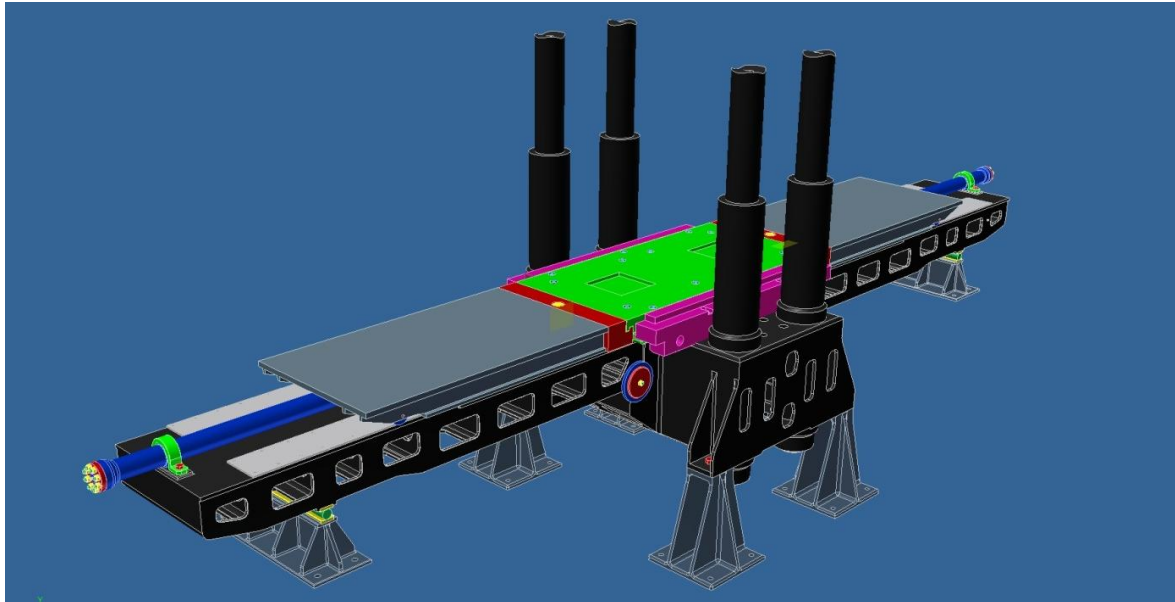
Na obr. 4.1. je znázorněn prostorový model hydraulického lisu, který je zabudován do podlahy výrobní haly. Celý lis je zakrytován ocelovými plechy s výjimkou pohyblivých částí, které se nyní nachází v pravé úvratí posuvu. Pohyblivé části tvoří kovací deska (zelená barva) a posuvové desky, které zajíždějí pod ocelové kryty lisu. Na kovací desku se umísťuje dolní kovádko. Na obrázku jsou také znázorněny sloupky, na kterých by se nacházela horní část lisu s horním kovádkem. Na obrázcích 4.2. a 4.3. je znázorněn hydraulický lis zabudovaný v podlaze haly v řezu.



Obr. 4.3. Řez sestavou hydraulického lisu ve výrobní hale

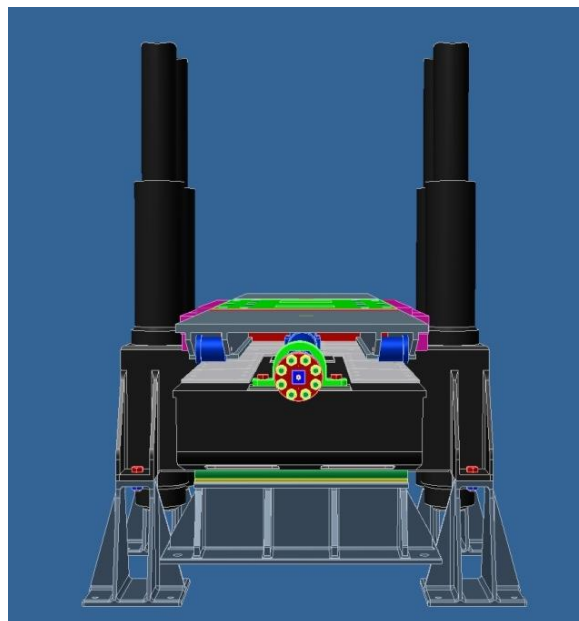
#### 4.1. Konstrukční varianta č. 1

Pohyb stolu je vyvozen dvojicí hydromotorů, které jsou uloženy proti sobě, každý na jedné straně stolu lisu. Jejich chod musí být synchronizován. Když jeden motor pracuje, druhý musí být odlehčen, aby nekladl žádný odpor proti pohybu prvního hydromotoru. Válce jsou pevně ukotveny k rámu lisu, plunžry jsou pohyblivé a spolu s nimi se pohybuje posuvová a kovací deska, která je s plunžrem spojena pomocí čepu ve spojovacím mezičlenu. Na obrázku 4.1.1. je znázorněna sestava hydraulického lisu s první konstrukční variantou posuvu stolu.



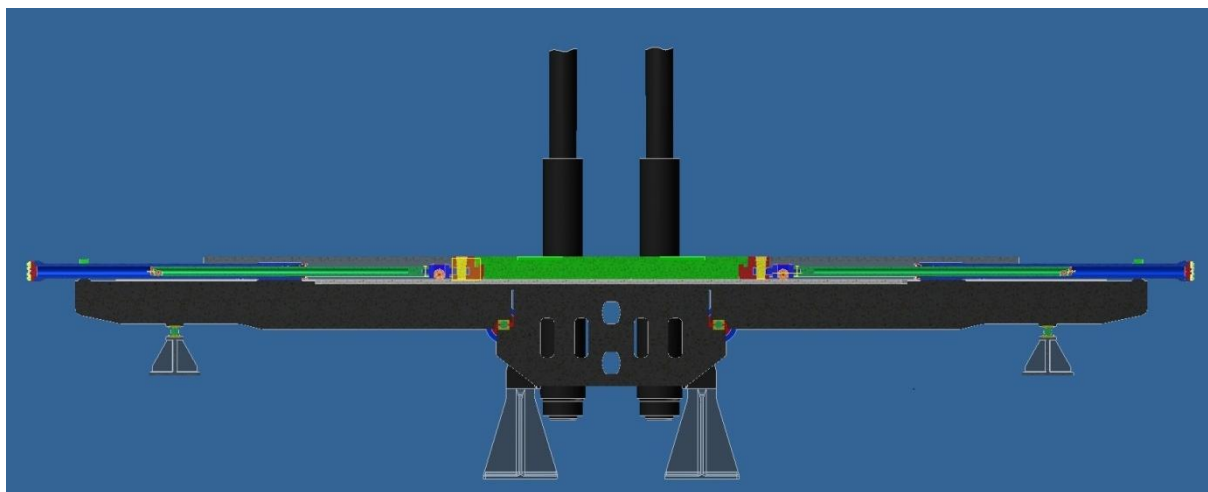
Obr. 4.1.1. Sestava první konstrukční varianty posuvu stolu

Na obrázku 4.1.2. je velmi dobře vidět posuvová deska opatřená dvojicí válečků, které se odvalují po speciálně upraveném loži. Je zde tedy čárový styk. Hlavní zatížení od kovací desky se spodním kovadlem a výkovkem je ovšem přeneseno přes kluzné plochy kovací a posuvové desky. V těchto místech dochází k tření mezi deskami a ložem přišroubovaným k rámu stroje. Tyto plochy je třeba neustále mazat, aby nedošlo k zadírání.



Obr. 4.1.2. Bokorys první varianty posuvu stolu

Obrázek 4.1.4. znázorňuje detail pravé strany pohonu posuvu stolu. Kovací deska je spojena s posuvovou deskou pomocí spojovacího členu (červená barva). Hydraulický válec je pevný a plunžr je spojen s pohyblivými deskami pomocí čepu (žlutá barva).



Obr. 4.1.3. Sestava první konstrukční varianty posuvu stolu v řezu



Obr. 4.1.4. Pravá strana sestavy posuvu stolu v řezu

#### 4.1.1. Výpočet konstrukční varianty č. 1

##### **Zadání:**

Hmotnost ingotu  $m_i = 40 \text{ t}$

Hmotnost spodní části kovacího přístroje  $m_p = 35 \text{ t}$

Zdvih posuvu  $L = 4\,000 \text{ mm}$

Rozměry kovací desky  $\text{ř} \times \text{h} \times \text{l} = 2\,400 \times 350 \times 4\,800 \text{ mm}$

Pracovní tlak  $p = 25 \text{ MPa}$

Pracovní kapalina – emulze vody s olejem

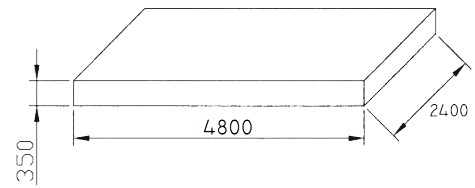
#### 4.1.1.1. Pohyblivé hmoty posuvu

##### Hmotnost kovací desky

$$V_1 = \check{s} \cdot h \cdot l = 2,4 \cdot 0,35 \cdot 4,8 = \underline{4,032 \text{ m}^3}$$

$$\rho = \underline{7\,850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}$$

$$m_1 = V_1 \cdot \rho = 4,032 \cdot 7\,850 = 31\,651,2 \text{ kg} \doteq \underline{31,7 \text{ t}}$$



##### Hmotnost posuvové desky

$$a = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$$

$$b = 300 \text{ mm} = 0,3 \text{ m}$$

$$c = 50 \text{ mm} = 0,05 \text{ m}$$

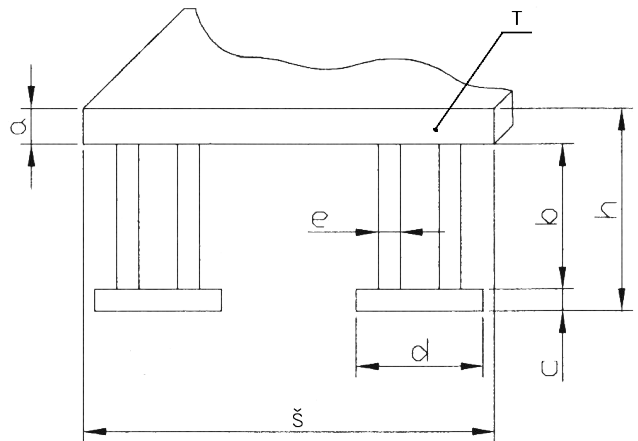
$$d = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$$

$$e = 50 \text{ mm} = 0,05 \text{ m}$$

$$h = 450 \text{ mm} = 0,45 \text{ m}$$

$$\check{s} = 2\,400 \text{ mm} = 2,4 \text{ m}$$

$$T = 5\,000 \text{ mm} = 5 \text{ m}$$



$$V_A = a \cdot \check{s} \cdot T = 0,1 \cdot 2,4 \cdot 5 = \underline{1,2 \text{ m}^3}$$

$$m_A = V_A \cdot \rho = 1,2 \cdot 7\,850 = \underline{9\,420 \text{ kg}}$$

$$V_B = e \cdot b \cdot T = 0,05 \cdot 0,3 \cdot 5 = \underline{0,075 \text{ m}^3}$$

$$m_B = V_B \cdot \rho = 0,075 \cdot 7\,850 = \underline{588,75 \text{ kg}}$$

$$V_C = T \cdot c \cdot d = 5 \cdot 0,05 \cdot 0,5 = \underline{0,125 \text{ m}^3}$$

$$m_C = V_C \cdot \rho = 0,125 \cdot 7\,850 = \underline{981,25 \text{ kg}}$$

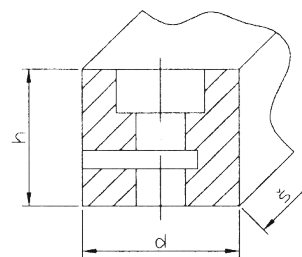
Spojovací člen:

$$V_{S\check{C}} = h \cdot d \cdot \check{s} = 0,45 \cdot 0,5 \cdot 2,4 = \underline{0,54 \text{ m}^3}$$

$$m_{S\check{C}} = V_{S\check{C}} \cdot \rho = 0,54 \cdot 7\,850 = \underline{4\,239 \text{ kg}}$$

##### Celková hmotnost posuvové desky

$$m_2 = m_A + 4 \cdot m_B + 2 \cdot m_C + m_{S\check{C}} = 9\,420 + 4 \cdot 588,75 + 2 \cdot 981,25 + 4\,239 = \underline{17\,976,5 \text{ kg}}$$



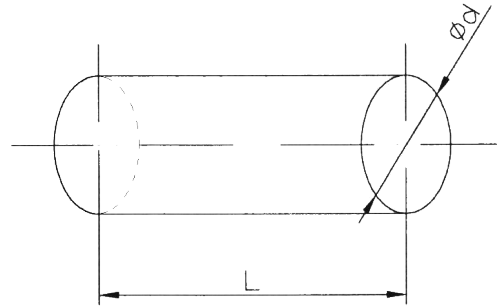
### Plunžr posuvu

$$\varnothing d = 200 \text{ mm} = 0,2 \text{ m}$$

$$L = 4\,000 \text{ mm} = 4 \text{ m}$$

$$V_3 = S \cdot L = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L = \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4} \cdot 4 \doteq \underline{0,1257 \text{ m}^3}$$

$$m_3 = V_3 \cdot \rho = 0,1257 \cdot 7\,850 = \underline{986,46 \text{ kg}}$$



### Hmotnost ingotu $m_i$

$$m_i = 40\,000 \text{ kg} = 40 \text{ t}$$

### Hmotnosti kovacího přístroje $m_p$

$$m_p = 35\,000 \text{ kg} = 35 \text{ t}$$

### Celková hmotnost pohyblivých hmot a síla posuvu

Celková hmotnost:

$$m_C = m_1 + 2 \cdot m_2 + 2 \cdot m_3 + m_i + m_p$$

$$m_C = 31\,651,2 + 2 \cdot 17\,976,5 + 2 \cdot 989,46 + 40\,000 + 35\,000 = \underline{144\,583,12 \text{ kg}}$$

### Celková síla:

$$F_C = m_C \cdot g = 144\,583,12 \cdot 9,81 = \underline{1\,418\,360,41 \text{ N}}$$

### Síla posuvu:

Součinitel tření  $f = 0,2 \div 0,5$

$$F_p = f \cdot F_C = 0,35 \cdot 1\,418\,360,41 = \underline{496\,426,14 \text{ N}}$$

#### 4.1.1.2. Návrh hydromotoru (hydraulický válec)

##### Průměr plunžru

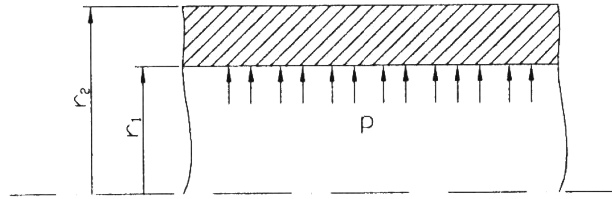
$$d_{teor} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_p}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 496\,426,14}{\pi \cdot 25}} = 159,01 \text{ mm} \Rightarrow \text{dle normy volím } \varnothing d = \underline{180 \text{ mm}}$$

- z tabulek pro ucpávky volím  $d = \underline{180 \text{ mm}}$

### Rozměry válce a kontrola dle S.V. a HMMH

Materiál válce: 13123.5;  $\sigma_D = 80 \text{ MPa}$

$$r_1 = \frac{d}{2} = \frac{180}{2} = \underline{90 \text{ mm}}$$



#### S. V. metoda

$$\kappa_{SV} = \sqrt{\frac{0,4 \cdot p + \sigma_D}{\sigma_D - 1,3 \cdot p}} = \sqrt{\frac{0,4 \cdot 25 \cdot 10^6 + 80 \cdot 10^6}{80 \cdot 10^6 - 1,3 \cdot 25 \cdot 10^6}} \doteq \underline{1,3765}$$

$$\kappa_{SV} = \frac{r_1}{r_2} \Rightarrow r_2 = \kappa_{SV} \cdot r_1 = 1,3765 \cdot 90 = \underline{123,885 \text{ mm}}$$

#### HMMH metoda

$$\kappa_{HMH} = \sqrt{\frac{\sigma_D}{\sigma_D - \sqrt{3} \cdot p}} = \sqrt{\frac{80 \cdot 10^6}{80 \cdot 10^6 - \sqrt{3} \cdot 25 \cdot 10^6}} \doteq \underline{1,4765}$$

$$\kappa_{HMH} = \frac{r_1}{r_2} \Rightarrow r_2 = \kappa_{HMH} \cdot r_1 = 1,4765 \cdot 90 = \underline{132,885 \text{ mm}}$$

Z výše uvedeného volím (včetně bezpečnosti)  $r_2 = \underline{135 \text{ mm}}$

### Síla hydraulického válce – kontrola

$$F_s = S \cdot p = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot p = \frac{\pi \cdot 180^2}{4} \cdot 25 = \underline{636\,172,5 \text{ N}}$$

$F_s > F_p \Rightarrow$  vyhovuje

#### 4.1.1.3. Pevnostní kontrola jednotlivých dílů

##### Spojovací čep

$a = 120 \text{ mm}$

$b = 70 \text{ mm}$

$c = 135 \text{ mm}$

$d = 75 \text{ mm}$

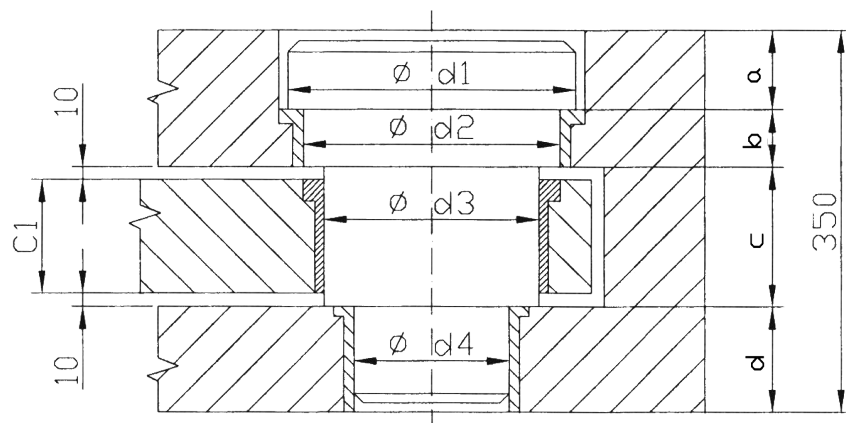
$c_1 = 115 \text{ mm}$

$\varnothing d_1 = 180 \text{ mm}$

$\varnothing d_2 = 170 \text{ mm}$

$\varnothing d_3 = 160 \text{ mm}$

$\varnothing d_4 = 150 \text{ mm}$

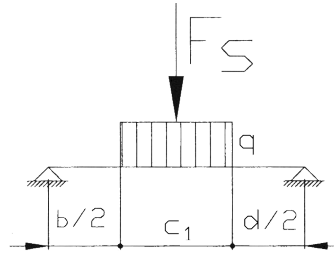


Materiál čepu 11600  $\rightarrow \sigma_D = 80 \text{ MPa}$

Materiál pouzdra 15241.4 – kalené

## Kontrola na ohyb

Spojité zatížení:



$$q = \frac{F_S}{c_1} = \frac{636172,5}{115} = \underline{5\,531,93 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

$$M_{o_{max}} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot c_1 \cdot (b + c + d) = \frac{1}{8} \cdot 5\,531,93 \cdot 115 \cdot (70 + 135 + 75)$$

$$M_{o_{max}} \doteq \underline{22,26602 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot d_4^3}{32} = \frac{\pi \cdot 140^3}{32} \doteq \underline{331\,339,85 \text{ mm}^3}$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{22,26602 \cdot 10^6}{331\,339,85} \doteq \underline{67,2 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_o \leq \sigma_D$$

$$34,6 \leq 80 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

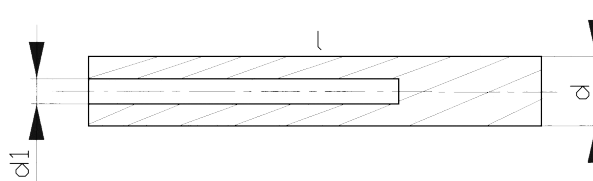
## Plunžr posuvu

- s ohledem na úsporu materiálu a odlehčení součásti volím dutý plunžr

$$\varnothing d = 180 \text{ mm}$$

$$\varnothing d_1 = 90 \text{ mm}$$

$$l = 4\,000 \text{ mm}$$



$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = \frac{\pi}{4} \cdot (180^2 - 90^2) = \underline{19\,085,18 \text{ mm}^2}$$

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64} - \frac{\pi \cdot d_1^4}{64} = \frac{\pi}{64} \cdot (180^4 - 90^4) = \underline{4,8309 \cdot 10^7 \text{ mm}^4}$$

## Průhyb od vlastní hmotnosti

Zatížení na 1 m délky q:

$$q = S \cdot l \cdot g \cdot \rho = 19\,085,18 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot 7\,850 \cdot 10^{-6} = \underline{1\,469,72 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

Průhyb:

$$x = \frac{q \cdot l^4}{8 \cdot E \cdot J} = \frac{1\,469,72 \cdot 4\,000^4 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 210\,000 \cdot 4,8309 \cdot 10^7} = \underline{4,64 \text{ mm}} \rightarrow \text{nutno podepřít kladkou na konci}$$

$$v = 0,0054 \cdot \frac{9 \cdot l^4}{E \cdot J} = 0,0054 \cdot \frac{1\,469,72 \cdot 4\,000^4 \cdot 10^{-3}}{210\,000 \cdot 4,8309 \cdot 10^7} \doteq \underline{0,2003 \text{ mm}}$$



### Vzpěr ve vysunutém stavu

$$\text{Mezní štíhlost } \lambda_{mez} = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_u}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210\,000}{265}} = \underline{88,44}$$

$$\text{Skutečná štíhlost } \lambda = l \cdot \sqrt{\frac{S}{J}} = 4\,000 \cdot \sqrt{\frac{19\,085,18}{4,8309 \cdot 10^7}} \doteq \underline{79,5}$$

$\lambda_{mez} > \lambda \Rightarrow$  výpočet dle Tatmayera

$$\sigma_{KRIT} = a - b \cdot \lambda = 578 - 3,75 \cdot 79,5 = \underline{279,875 \text{ MPa}}$$

$$F_D = S \cdot \sigma_{KRIT} = 19\,085,18 \cdot 279,875 \doteq \underline{5,3415 \cdot 10^6 \text{ N}}$$

$F_D > F_S \Rightarrow$  vyhovuje

### Válec posuvu

- materiál 13123.5  $\rightarrow \sigma_D = 80 \text{ MPa}$

#### a) klasický výpočet od vnitřního tlaku

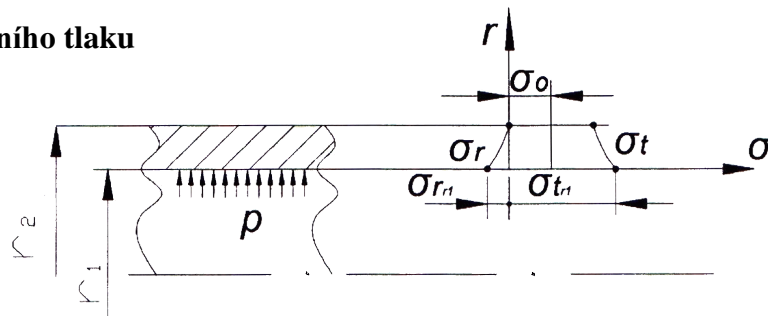
$$r_1 = 90 \text{ mm}$$

$$r_2 = 135 \text{ mm}$$

$$\kappa = \frac{r_2}{r_1} = \frac{135}{90} = \underline{1,5}$$

$$\sigma_O = \frac{p}{\kappa^2 - 1} = \frac{25}{1,5^2 - 1} = \underline{20 \text{ MPa}} \quad ; \quad \sigma_{r_{r_1}} = -p = \underline{-25 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{t_{r_1}} = 2 \cdot \sigma_O + p = 2 \cdot 20 + 25 = \underline{65 \text{ MPa}}$$



### Redukované napětí dle teorie S.V. a HMM

- metoda S.V.

$$\sigma_{REDSV} = \sigma_{t_{r_1}} - \mu \cdot (\sigma_{r_{r_1}} + \sigma_O) = 65 - 0,3 \cdot (-25 + 20) = \underline{66,5 \text{ MPa}}$$

$\sigma_{REDSV} \leq \sigma_D \Rightarrow$  vyhovuje

- metoda HMM

$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_{t_{r_1}}^2 + \sigma_{r_{r_1}}^2 + \sigma_O^2 - \sigma_{r_{r_1}} \cdot \sigma_{t_{r_1}} - \sigma_{t_{r_1}} \cdot \sigma_O - \sigma_{r_{r_1}} \cdot \sigma_O}$$

$$\sigma_{RED} = \sqrt{60^2 + (-25)^2 + 20^2 - (-25) \cdot 65 - 65 \cdot 20 - (-25) \cdot 20} \doteq \underline{73,82 \text{ MPa}}$$

$\sigma_{REDHMM} \leq \sigma_D \rightarrow$  vyhovuje

### b) Úchyt válce v ložích posuvu

- materiál přivařených desek 11373.1

$$\sigma_{DO} = 0,4 \sigma_{pt} = \underline{148 \text{ MPa}} \rightarrow \text{střídavý ohyb}$$

$$\sigma_{Dt} = 0,28 \sigma_{pt} = \underline{103,6 \text{ MPa}} \rightarrow \text{střídavý tah}$$

$$\sigma_{pt} = 370 \text{ MPa}$$

- materiál pera 11523.1;  $\sigma_D = 80 \text{ MPa}$

$$a = 30 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$c = 30 \text{ mm}$$

$$d = 30 \text{ mm}$$

$$h = 100 \text{ mm}$$

$$B = 240 \text{ mm}$$

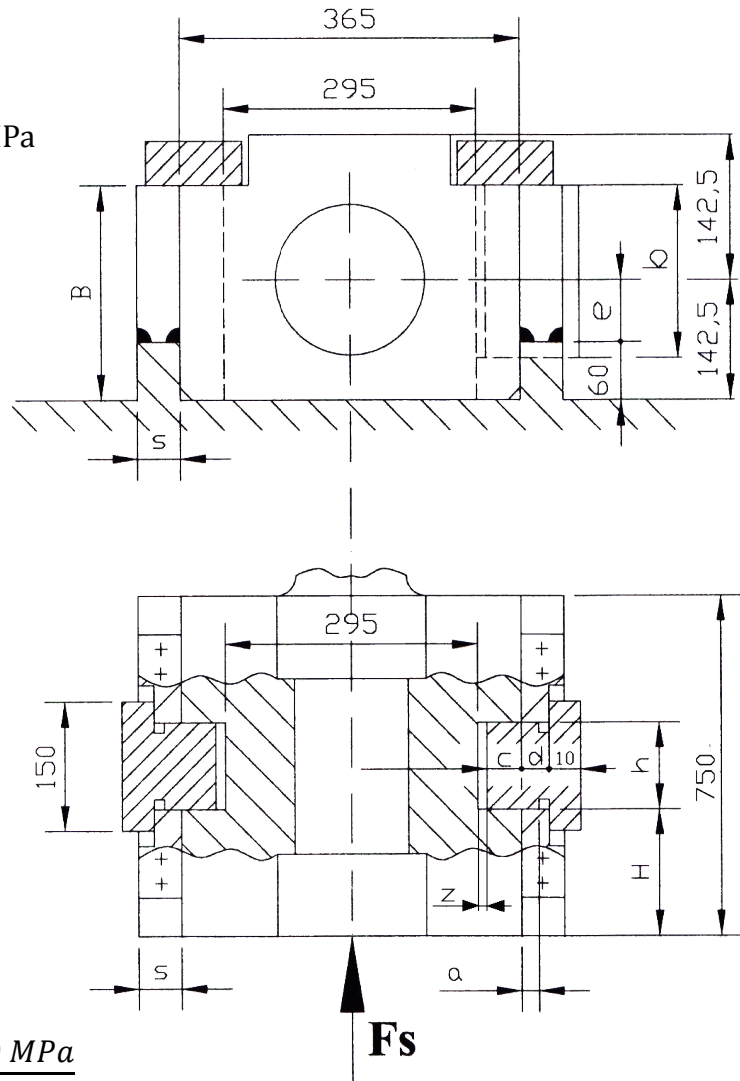
$$H = 100 \text{ mm}$$

$$z = 5 \text{ mm}$$

$$s = 55 \text{ mm}$$

$$e = 82,5 \text{ mm}$$

$$F_S = 636\,172,5 \text{ N}$$



#### Kontrola na otlačení pera

- v místě 1.:

$$p_1 = \frac{F_S}{2 \cdot s} = \frac{F_S}{2 \cdot a \cdot b} = \frac{636\,172,5}{2 \cdot 30 \cdot 150} \doteq \underline{70,69 \text{ MPa}}$$

- v místě 2.:

$$p_2 = \frac{F_S}{2 \cdot s} = \frac{F_S}{2 \cdot c \cdot b} = \frac{636\,172,5}{2 \cdot 30 \cdot 150} \doteq \underline{70,69 \text{ MPa}}$$

$$p_1 = p_2 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

#### Kontrola na smyk pera

$$\tau_S = \frac{F_S}{2 \cdot s} = \frac{F_S}{2 \cdot h \cdot b} = \frac{636\,172,5}{2 \cdot 100 \cdot 150} \doteq \underline{21,21 \text{ MPa}}$$

$$\tau_S \leq \tau_D \rightarrow \text{vyhovuje}$$

### Kontrola na ohyb

$$M_o = \frac{F_S}{2} \cdot l = \frac{F_S}{2} \cdot \frac{d+c}{2} = \frac{636\,172,5}{2} \cdot \frac{30+30}{2} \doteq \underline{9,5426 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

$$W_o = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{150 \cdot 100^2}{6} \doteq \underline{250\,000 \text{ mm}^3}$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{9,5426 \cdot 10^6}{250\,000} \doteq \underline{38,17 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_o \leq \sigma_D \rightarrow \text{vyhovuje}$$

### Kontrola příruby válce na ohyb

$$M_o = \frac{F_S}{2} \cdot \left( \frac{c}{2} + z \right) = \frac{636\,172,5}{2} \cdot \left( \frac{30}{2} + 5 \right) \doteq \underline{6,36173 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

$$W_o = \frac{B \cdot H^2}{6} = \frac{240 \cdot 100^2}{6} \doteq \underline{400\,000 \text{ mm}^3}$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{6,36173 \cdot 10^6}{400\,000} \doteq \underline{15,9 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_o \leq \sigma_D \rightarrow \text{vyhovuje}$$

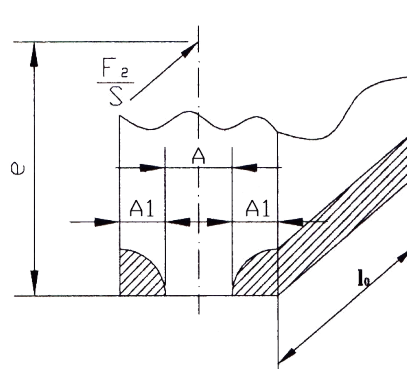
### Kontrola svarů opěrných desek

$$A = 55 \text{ mm}$$

$$A_1 = 25 \text{ mm}$$

$$l_0 = 500 \text{ mm}$$

$$e = 82,5 \text{ mm}$$



### Nosná plocha svarů (koutová)

$$S = 2 \cdot A_1 \cdot l = 2 \cdot A_1 \cdot (l_0 - 2 \cdot A_1) = 2 \cdot 25 \cdot (500 - 2 \cdot 25) = \underline{22\,500 \text{ mm}^2}$$

### Smykové napětí

$$\tau_S = \frac{F_S}{2 \cdot S} = \frac{636\,172,5}{2 \cdot 22\,500} \doteq \underline{14,14 \text{ MPa}}$$

### Ohybové napětí

$$M_o = \frac{F_S}{2} \cdot e = \frac{636\,172,5}{2} \cdot 82,5 \doteq \underline{26,2421 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

$$W_o = \frac{A_1 \cdot l^2}{6} = \frac{25 \cdot 450^2}{6} \doteq \underline{843\,750 \text{ mm}^3}$$

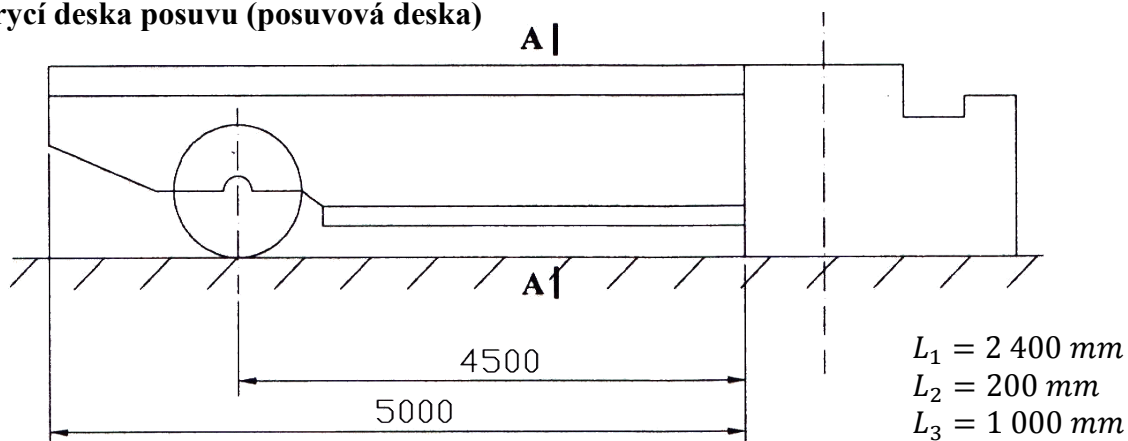
$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{26,2421 \cdot 10^6}{843\,750} \doteq \underline{31,1 \text{ MPa}}$$

### Sloučené namáhání dle HMH hypotézy

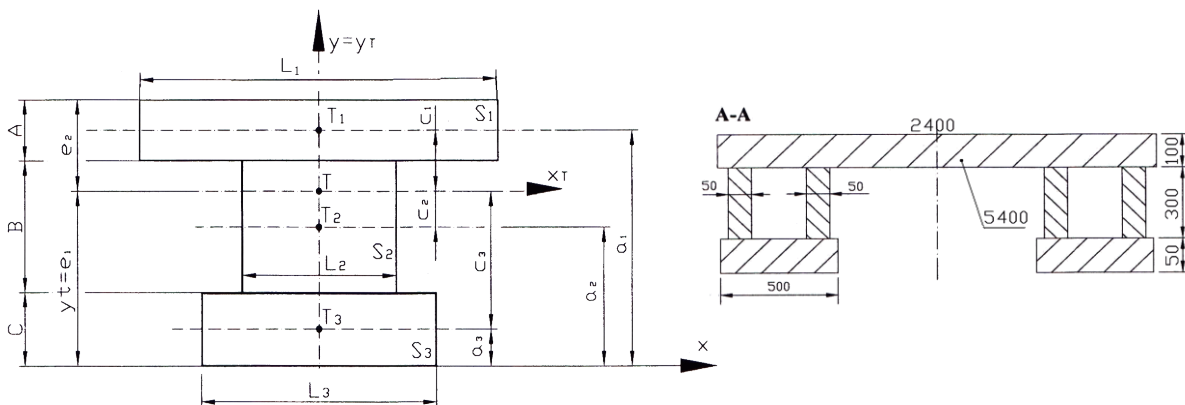
$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{31,1^2 + 3 \cdot 14,14^2} = \underline{39,59 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_c \leq \sigma_D \rightarrow \text{vyhovuje}$$

### Krycí deska posuvu (posuvová deska)



**Výpočtový model:**  $y$  – vzdálenost od T,  $c$  – vzdálenost od  $x = 0$ ,  $y = 0$



	$S$ [mm <sup>2</sup> ]	$c_i$ [mm]	$a_i$ [mm]	$I$ [mm <sup>4</sup> ]	$S \cdot c_i^2$
1	240 000	87,86	400	$200 \cdot 10^6$	$1,85265 \cdot 10^6$
2	60 000	112,14	200	$450 \cdot 10^6$	$7,5452 \cdot 10^6$
3	50 000	287,14	25	$10,42 \cdot 10^6$	$4,1225 \cdot 10^6$
$\Sigma$	350 000	-	-	$660,42 \cdot 10^6$	$6,7297 \cdot 10^9$

$$I = \Sigma I + \Sigma S \cdot y^2 = 660,42 \cdot 10^6 + 6,7297 \cdot 10^9 = \underline{7,39 \cdot 10^9 \text{ mm}^4}$$

#### Určení těžiště T

$$S \cdot y_T = S_1 \cdot a_1 + S_2 \cdot a_2 + S_3 \cdot a_3 \Rightarrow y_T = \frac{S_1 \cdot a_1 + S_2 \cdot a_2 + S_3 \cdot a_3}{S}$$

$$y_T = \frac{240\,000 \cdot 400 + 60\,000 \cdot 200 + 50\,000 \cdot 25}{450\,000} = \underline{312,14 \text{ mm}}$$

$$x_T = 0 \text{ - osa souměrnosti ; } e_1 = y_T = \underline{312,14 \text{ mm}}$$

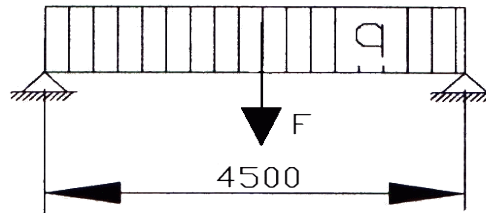
$$e_2 = A + B + C - e_1 = 100 + 300 + 50 - 312,14 = \underline{137,86 \text{ mm}}$$

#### Učení $W_0$

$$\text{TAH: } W_{01} = \frac{I}{e_1} = \frac{7,39 \cdot 10^9}{312,14} \doteq \underline{23,675 \cdot 10^6 \text{ mm}^3}$$

$$\text{TLAK: } W_{02} = \frac{I}{e_2} = \frac{7,39 \cdot 10^9}{137,86} \doteq \underline{53,61 \cdot 10^6 \text{ mm}^3}$$

### Namáhání od vlastní hmotnosti



Hmotnost desky mezi podporami:

$$m = S \cdot l_p \cdot \rho = 350\,000 \cdot 4\,500 \cdot 7\,850 \cdot 10^{-9} = \underline{12\,363,75\text{ kg}}$$

Síla od vlastní hmotnosti:

$$F = m \cdot g = 12\,363,75 \cdot 9,81 = \underline{121\,288,4\text{ N}}$$

Síla na jednotku délky:

$$q = \frac{F}{l_p} = \frac{121,29}{4\,500} = \underline{26,95\text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

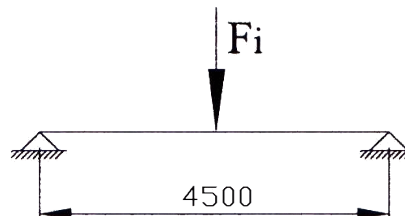
$$M_o = \frac{q \cdot l_p^2}{8} = \frac{26,95 \cdot 4\,500^2}{8} = \underline{68,2172 \cdot 10^6\text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

$$\sigma_{om} = \frac{M_o}{W_{o1}} = \frac{68,2172 \cdot 10^6}{23,675 \cdot 10^6} = \underline{2,881\text{ MPa}}$$

Průhyb od vlastní hmotnosti:

$$y_m = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l_p^4}{E \cdot I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{26,95 \cdot 4500^4}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 7,39 \cdot 10^9} \doteq \underline{0,093\text{ mm}}$$

Namáhání od položeného ingotu



$$m_i = 40\text{ t} = 40\,000\text{ kg}$$

$$F_i = m_i \cdot g = 40\,000 \cdot 9,81 = \underline{392\,400\text{ N}}$$

$$M_o = \frac{F_i \cdot l_p}{4} = \frac{392\,400 \cdot 4\,500}{4} = \underline{4,4145 \cdot 10^8\text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_{o1}} = \frac{4,4145 \cdot 10^8}{23,675 \cdot 10^6} = \underline{18,65\text{ MPa}}$$

Průhyb od tíhy ingotu:

$$y_i = \frac{1}{48} \cdot \frac{F_i \cdot l_p^3}{E \cdot I} = \frac{1}{48} \cdot \frac{392\,400 \cdot 4\,500^3}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 7,39 \cdot 10^9} \doteq \underline{0,48\text{ mm}}$$

Celkový průhyb posuvové desky:

$$y_c = y_m + y_i = 0,093 + 0,48 = \underline{0,573\text{ mm}} > 0,5\text{ mm} \Rightarrow \text{podmínka průhybu není splněna}$$

#### 4.1.1.3.1. Korekce rozměrů

Z důvodu nesplnění podmínky průhybu měním rozměr:  $e = 60 \text{ mm} = 0,06 \text{ m}$

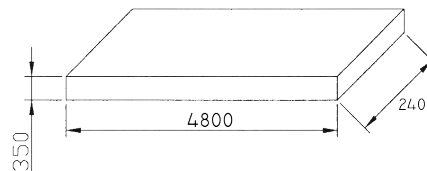
**Pohyblivé hmoty posuvu:**

**Hmotnost kovací desky**

$$V_1 = \check{s} \cdot h \cdot l = 2,4 \cdot 0,35 \cdot 4,8 = \underline{4,032 \text{ m}^3}$$

$$\rho = \underline{7\,850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}$$

$$m_1 = V_1 \cdot \rho = 4,032 \cdot 7\,850 = 31\,651,2 \text{ kg} \doteq \underline{31,7 \text{ t}}$$



**Hmotnost posuvové desky**

$$a = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$$

$$b = 300 \text{ mm} = 0,3 \text{ m}$$

$$c = 50 \text{ mm} = 0,05 \text{ m}$$

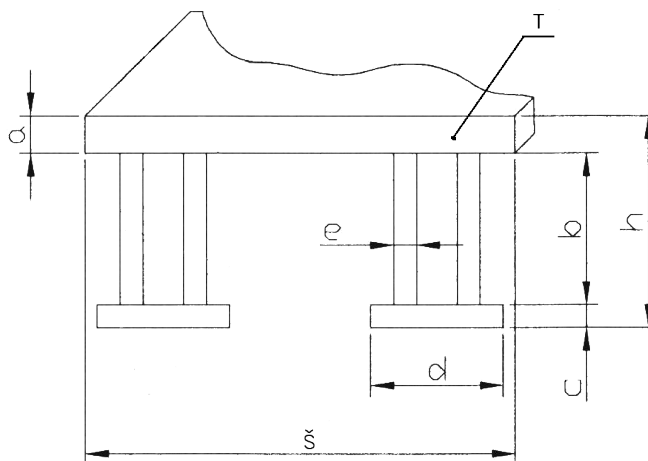
$$d = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$$

$$e = 60 \text{ mm} = 0,06 \text{ m}$$

$$h = 450 \text{ mm} = 0,45 \text{ m}$$

$$\check{s} = 2\,400 \text{ mm} = 2,4 \text{ m}$$

$$T = 5\,000 \text{ mm} = 5 \text{ m}$$



$$V_A = a \cdot \check{s} \cdot T = 0,1 \cdot 2,4 \cdot 5 = \underline{1,2 \text{ m}^3}$$

$$m_A = V_A \cdot \rho = 1,2 \cdot 7\,850 = \underline{9\,420 \text{ kg}}$$

$$V_B = e \cdot b \cdot T = 0,06 \cdot 0,3 \cdot 5 = \underline{0,09 \text{ m}^3}$$

$$m_B = V_B \cdot \rho = 0,09 \cdot 7\,850 = \underline{706,5 \text{ kg}}$$

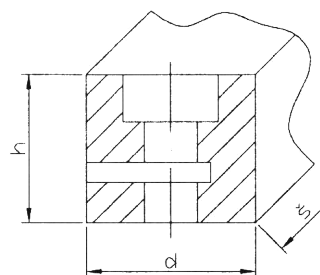
$$V_C = T \cdot c \cdot d = 5 \cdot 0,05 \cdot 0,5 = \underline{0,125 \text{ m}^3}$$

$$m_C = V_C \cdot \rho = 0,125 \cdot 7\,850 = \underline{981,25 \text{ kg}}$$

**Spojovací člen**

$$V_{S\check{c}} = h \cdot d \cdot \check{s} = 0,45 \cdot 0,5 \cdot 2,4 = \underline{0,54 \text{ m}^3}$$

$$m_{S\check{c}} = V_{S\check{c}} \cdot \rho = 0,54 \cdot 7\,850 = \underline{4\,239 \text{ kg}}$$



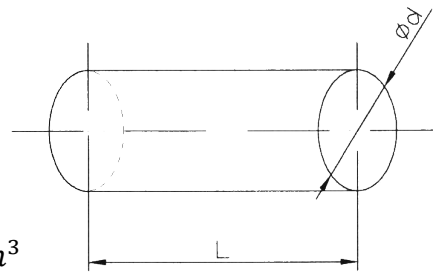
### Celková hmotnost posuvové desky

$$m_2 = m_A + 4 \cdot m_B + 2 \cdot m_C + m_{S\check{C}} = 9\,420 + 4 \cdot 706,5 + 2 \cdot 981,25 = \underline{14\,208,5 \text{ kg}}$$

### Plunžr posuvu

$$\varnothing d = 200 \text{ mm} = 0,2 \text{ m}$$

$$L = 4\,000 \text{ mm} = 4 \text{ m}$$



$$V_3 = S \cdot L = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L = \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4} \cdot 4 \doteq \underline{0,1257 \text{ m}^3}$$

$$m_3 = V_3 \cdot \rho = 0,1257 \cdot 7\,850 = \underline{986,46 \text{ kg}}$$

### Hmotnost ingotu $m_i$

$$m_i = 40\,000 \text{ kg} = 40 \text{ t}$$

### Hmotnosti kovacího přístroje $m_p$

$$m_p = 35\,000 \text{ kg} = 35 \text{ t}$$

### Celková hmotnost pohyblivých hmot a síla posuvu

Celková hmotnost:

$$m_c = m_1 + 2 \cdot m_2 + 2 \cdot m_3 + m_i + m_p$$

$$m_c = 31\,651,2 + 2 \cdot 14\,208,5 + 2 \cdot 989,46 + 40\,000 + 35\,000 = \underline{138\,105,12 \text{ kg}}$$

### Celková síla:

$$F_c = m_c \cdot g = 138\,105,12 \cdot 9,81 = \underline{1\,354\,811,23 \text{ N}}$$

### Síla posuvu:

$$\text{Součinitel tření } f = 0,2 \div 0,5$$

$$F_p = f \cdot F_c = 0,35 \cdot 1\,354\,811,23 = \underline{474\,183,93 \text{ N}}$$

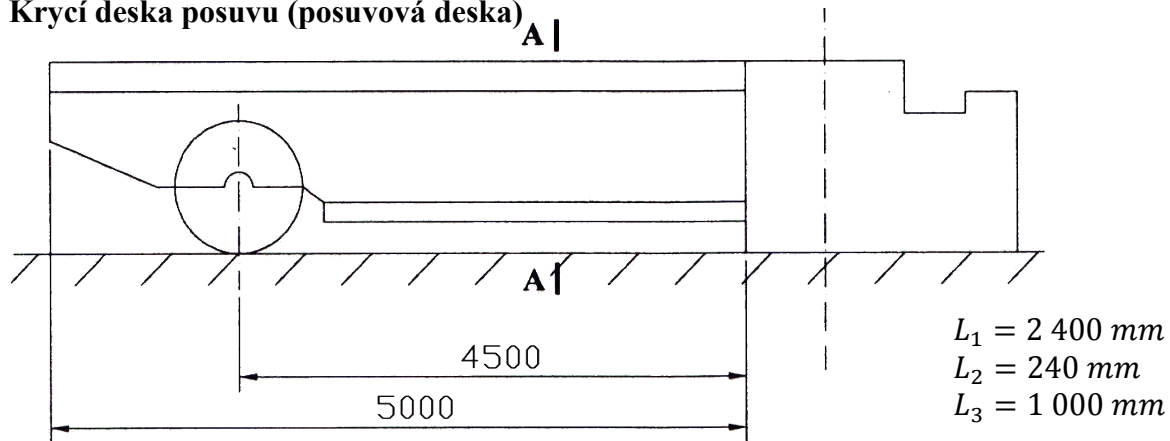
### Návrh hydromotoru (hydraulický válec)

#### Průměr plunžru

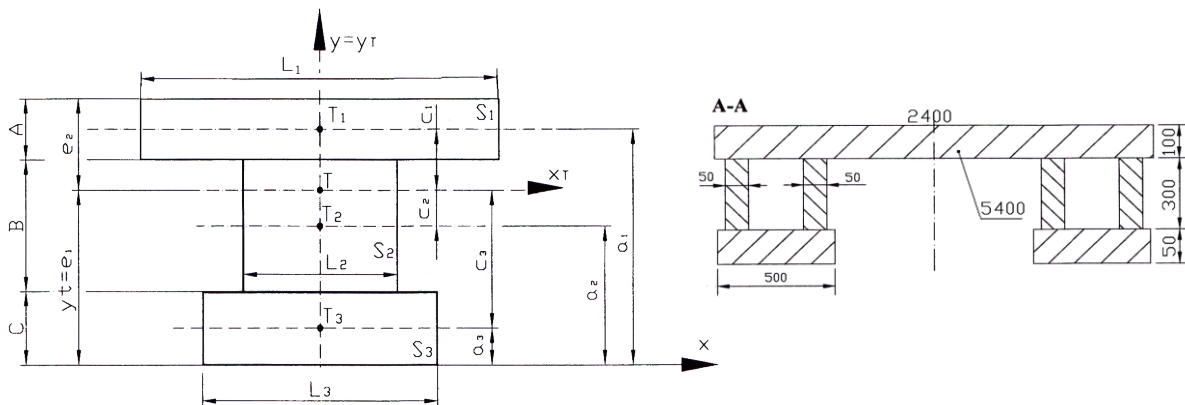
$$d_{teor} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_p}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 474\,183,93}{\pi \cdot 25}} = 155,4 \text{ mm} \Rightarrow \text{dle normy volím } \varnothing d = \underline{180 \text{ mm}}$$

- z tabulek pro ucpávky volím  $d = \underline{180 \text{ mm}}$

**Krycí deska posuvu (posuvová deska)**



**Výpočtový model:**  $y$  – vzdálenost od  $T$ ,  $c$  – vzdálenost od  $x = 0$ ,  $y = 0$



	$S$ [mm <sup>2</sup> ]	$c_i$ [mm]	$a_i$ [mm]	$I$ [mm <sup>4</sup> ]	$S \cdot c_i^2$
1	240 000	87,86	400	$200 \cdot 10^6$	$1,85265 \cdot 10^9$
2	72 000	112,14	200	$540 \cdot 10^6$	$9,05427 \cdot 10^8$
3	50 000	287,14	25	$10,42 \cdot 10^6$	$4,1225 \cdot 10^9$
$\Sigma$	362 000	-	-	$750,42 \cdot 10^6$	$68,80577 \cdot 10^8$

$$I = \Sigma I + \Sigma S \cdot y^2 = 750,42 \cdot 10^6 + 68,80577 \cdot 10^8 = \underline{7,631 \cdot 10^9 \text{ mm}^4}$$

**Určení těžiště T**

$$S \cdot y_T = S_1 \cdot a_1 + S_2 \cdot a_2 + S_3 \cdot a_3 \Rightarrow y_T = \frac{S_1 \cdot a_1 + S_2 \cdot a_2 + S_3 \cdot a_3}{S}$$

$$y_T = \frac{240\,000 \cdot 400 + 72\,000 \cdot 200 + 50\,000 \cdot 25}{362\,000} = \underline{308,43 \text{ mm}}$$

$$x_T = 0 \text{ - osa souměrnosti ; } e_1 = y_T = \underline{308,43 \text{ mm}}$$

$$e_2 = A + B + C - e_1 = 100 + 300 + 50 - 308,43 = \underline{141,57 \text{ mm}}$$

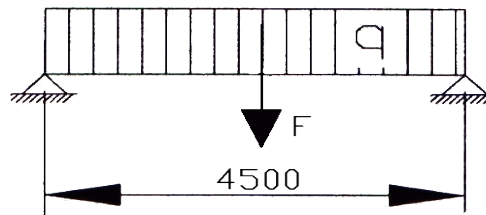
**Učení  $W_0$**

$$\text{TAH: } W_{o1} = \frac{I}{e_1} = \frac{7,631 \cdot 10^9}{308,43} \doteq \underline{24,7414 \cdot 10^6 \text{ mm}^3}$$

$$\text{TLAK: } W_{o2} = \frac{I}{e_2} = \frac{7,631 \cdot 10^9}{141,57} \doteq \underline{53,903 \cdot 10^6 \text{ mm}^3}$$



### Namáhání od vlastní hmotnosti



Hmotnost desky mezi podporami:

$$m = S \cdot l_p \cdot \rho = 362\,000 \cdot 4\,500 \cdot 7\,850 \cdot 10^{-9} = \underline{12\,787,65 \text{ kg}}$$

### Síla od vlastní hmotnosti

$$F = m \cdot g = 12\,787,65 \cdot 9,81 = \underline{125\,446,8 \text{ N}}$$

### Síla na jednotku délky

$$q = \frac{F}{l_p} = \frac{125\,446,8}{4\,500} = \underline{27,89 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

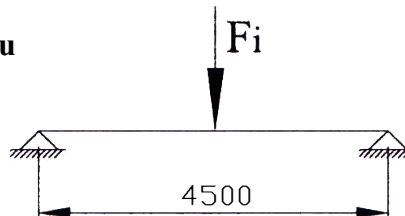
$$M_o = \frac{q \cdot l_p^2}{8} = \frac{27,89 \cdot 4\,500^2}{8} = \underline{70,5966 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

$$\sigma_{om} = \frac{M_o}{W_{o1}} = \frac{70,5966 \cdot 10^6}{24,7414 \cdot 10^6} = \underline{2,853 \text{ MPa}}$$

### Průhyb od vlastní hmotnosti

$$y_m = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l_p^4}{E \cdot I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{27,89 \cdot 4\,500^4}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 7,631 \cdot 10^9} \doteq \underline{0,0933 \text{ mm}}$$

### Namáhání od položeného ingotu



$$m_i = 40 \text{ t} = 40\,000 \text{ kg}$$

$$F_i = m_i \cdot g = 40\,000 \cdot 9,81 = \underline{392\,400 \text{ N}}$$

$$M_o = \frac{F \cdot l_p}{4} = \frac{392\,400 \cdot 4\,500}{4} = \underline{4,4145 \cdot 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_{o1}} = \frac{4,4145 \cdot 10^8}{24,7414 \cdot 10^6} = \underline{17,84 \text{ MPa}}$$

### Průhyb od tíhy ingotu

$$y_i = \frac{1}{48} \cdot \frac{F_i \cdot l_p^3}{E \cdot I} = \frac{1}{48} \cdot \frac{392\,400 \cdot 4\,500^3}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 7,39 \cdot 10^9} \doteq \underline{0,4648 \text{ mm}}$$

### Celkový průhyb posuvové desky

$$y_c = y_m + y_i = 0,0933 + 0,4648 = \underline{0,558 \text{ mm}} > 0,5 \text{ mm} \Rightarrow \text{podmínka průhybu není splněna}$$

#### 4.1.1.3.2. Druhá korekce rozměrů

Z důvodu nesplnění podmínky průhybu měním rozměry:  $b = 400 \text{ mm} = 0,4 \text{ m}$   
 $h = 550 \text{ mm} = 0,55 \text{ m}$

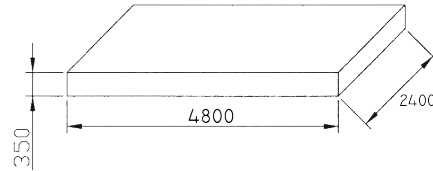
#### Pohyblivé hmoty posuvu

##### Hmotnost kovací desky

$$V_1 = \check{s} \cdot h \cdot l = 2,4 \cdot 0,35 \cdot 4,8 = \underline{4,032 \text{ m}^3}$$

$$\rho = \underline{7\,850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}$$

$$m_1 = V_1 \cdot \rho = 4,032 \cdot 7\,850 = 31\,651,2 \text{ kg} \doteq \underline{31,7 \text{ t}}$$



##### Hmotnost posuvové desky

$$a = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$$

$$b = 400 \text{ mm} = 0,4 \text{ m}$$

$$c = 50 \text{ mm} = 0,05 \text{ m}$$

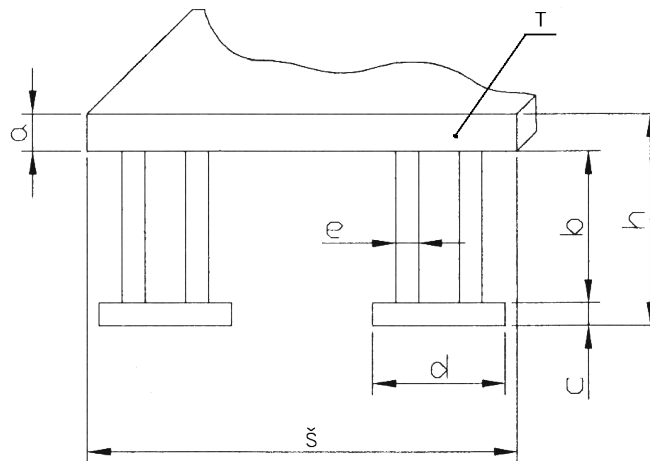
$$d = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$$

$$e = 50 \text{ mm} = 0,05 \text{ m}$$

$$h = 550 \text{ mm} = 0,55 \text{ m}$$

$$\check{s} = 2\,400 \text{ mm} = 2,4 \text{ m}$$

$$T = 5\,000 \text{ mm} = 5 \text{ m}$$



$$V_A = a \cdot \check{s} \cdot T = 0,1 \cdot 2,4 \cdot 5 = \underline{1,2 \text{ m}^3}$$

$$m_A = V_A \cdot \rho = 1,2 \cdot 7\,850 = \underline{9\,420 \text{ kg}}$$

$$V_B = e \cdot b \cdot T = 0,05 \cdot 0,4 \cdot 5 = \underline{0,1 \text{ m}^3}$$

$$m_B = V_B \cdot \rho = 0,1 \cdot 7\,850 = \underline{785 \text{ kg}}$$

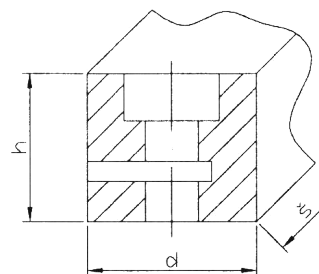
$$V_C = T \cdot c \cdot d = 5 \cdot 0,05 \cdot 0,5 = \underline{0,125 \text{ m}^3}$$

$$m_C = V_C \cdot \rho = 0,125 \cdot 7\,850 = \underline{981,25 \text{ kg}}$$

Spojovací člen:

$$V_{S\check{c}} = h \cdot d \cdot \check{s} = 0,55 \cdot 0,5 \cdot 2,4 = \underline{0,66 \text{ m}^3}$$

$$m_{S\check{c}} = V_{S\check{c}} \cdot \rho = 0,66 \cdot 7\,850 = \underline{5\,181 \text{ kg}}$$



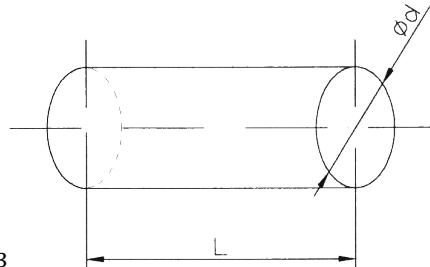
### Celková hmotnost posuvové desky:

$$m_2 = m_A + 4 \cdot m_B + 2 \cdot m_C + m_{S\check{C}} = 9\,420 + 4 \cdot 785 + 2 \cdot 981,25 + 5\,181 = \underline{19\,703,5 \text{ kg}}$$

### Plunžr posuvu

$$\phi d = 200 \text{ mm} = 0,2 \text{ m}$$

$$L = 4\,000 \text{ mm} = 4 \text{ m}$$



$$V_3 = S \cdot L = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L = \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4} \cdot 4 \doteq \underline{0,1257 \text{ m}^3}$$

$$m_3 = V_3 \cdot \rho = 0,1257 \cdot 7\,850 = \underline{986,46 \text{ kg}}$$

### Hmotnost ingotu $m_i$

$$m_i = 40\,000 \text{ kg} = 40 \text{ t}$$

### Hmotnosti kovacího přístroje $m_p$

$$m_p = 35\,000 \text{ kg} = 35 \text{ t}$$

### Celková hmotnost pohyblivých hmot a síla posuvu

Celková hmotnost:

$$m_c = m_1 + 2 \cdot m_2 + 2 \cdot m_3 + m_i + m_p$$

$$m_c = 31\,651,2 + 2 \cdot 19\,703,5 + 2 \cdot 989,46 + 40\,000 + 35\,000 = \underline{148\,036,92 \text{ kg}}$$

### Celková síla:

$$F_c = m_c \cdot g = 148\,036,92 \cdot 9,81 \doteq \underline{1\,452\,242,19 \text{ N}}$$

### Síla posuvu:

Součinitel tření  $f = 0,2 \div 0,5$

$$F_p = f \cdot F_c = 0,35 \cdot 1\,452\,242,19 \doteq \underline{508\,284,77 \text{ N}}$$

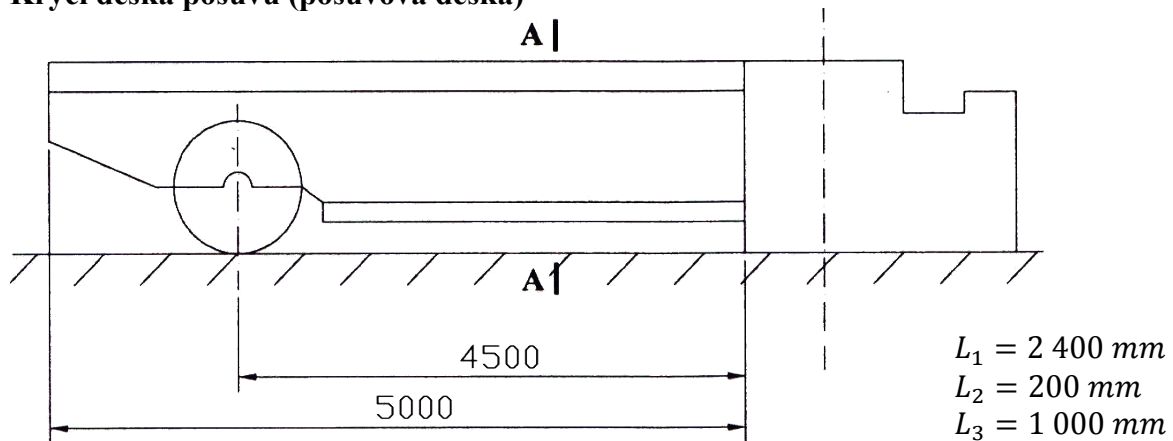
### Návrh hydromotoru (hydraulický válec)

#### Průměr plunžru

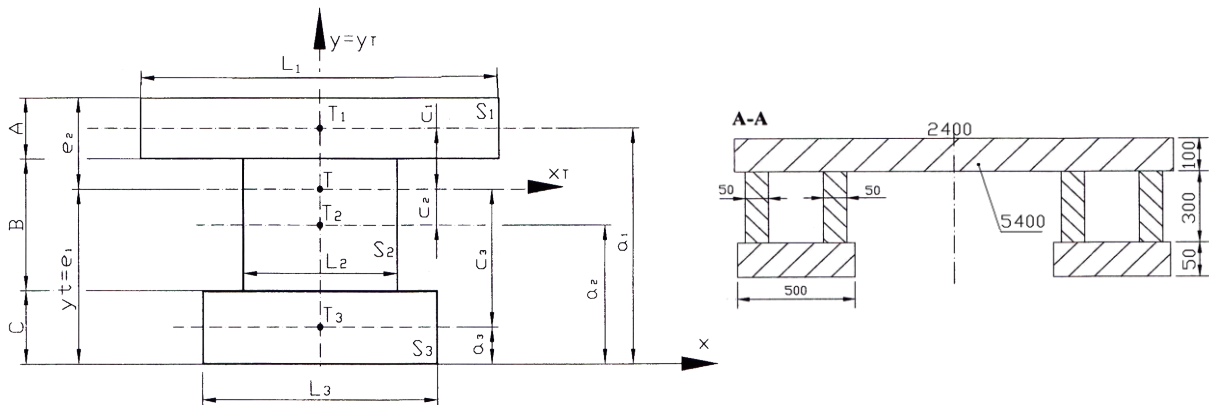
$$d_{teor} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_p}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 508\,284,77}{\pi \cdot 25}} \doteq 160,9 \text{ mm} \Rightarrow \text{dle normy volím } \phi d = \underline{180 \text{ mm}}$$

- z tabulek pro ucpávky volím  $d = \underline{180 \text{ mm}}$

### Krycí deska posuvu (posuvová deska)



**Výpočtový model:**  $y$  – vzdálenost od T,  $c$  – vzdálenost od  $x = 0$ ,  $y = 0$



	$S$ [mm <sup>2</sup> ]	$c_i$ [mm]	$a_i$ [mm]	$I$ [mm <sup>4</sup> ]	$S \cdot c_i^2$
1	240 000	142,3	500	$200 \cdot 10^6$	$1,85265 \cdot 10^6$
2	80 000	132,7	225	$1066,67 \cdot 10^6$	$7,5452 \cdot 10^6$
3	50 000	332,7	25	$10,42 \cdot 10^6$	$4,1225 \cdot 10^6$
$\Sigma$	370 000	-	-	$1277,09 \cdot 10^6$	$1,177977 \cdot 10^{10}$

$$I = \Sigma I + \Sigma S \cdot c_i^2 = 1277,09 \cdot 10^6 + 1,177977 \cdot 10^{10} = \underline{1,306 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4}$$

#### Určení těžiště T

$$S \cdot y_T = S_1 \cdot a_1 + S_2 \cdot a_2 + S_3 \cdot a_3 \Rightarrow y_T = \frac{S_1 \cdot a_1 + S_2 \cdot a_2 + S_3 \cdot a_3}{S}$$

$$y_T = \frac{240\,000 \cdot 500 + 80\,000 \cdot 225 + 50\,000 \cdot 25}{370\,000} = \underline{357,7 \text{ mm}}$$

$$x_T = 0 \text{ - osa souměrnosti ; } e_1 = y_T = \underline{357,7 \text{ mm}}$$

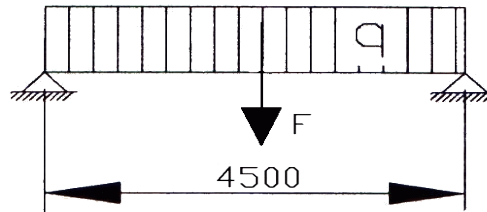
$$e_2 = A + B + C - e_1 = 100 + 400 + 50 - 357,7 = \underline{192,3 \text{ mm}}$$

#### Učení $W_0$

$$\text{TAH: } W_{01} = \frac{I}{e_1} = \frac{1,306 \cdot 10^{10}}{357,7} \doteq \underline{36,511 \cdot 10^6 \text{ mm}^3}$$

$$\text{TLAK: } W_{02} = \frac{I}{e_2} = \frac{1,306 \cdot 10^{10}}{192,3} \doteq \underline{67,915 \cdot 10^6 \text{ mm}^3}$$

### Namáhání od vlastní hmotnosti



Hmotnost desky mezi podporami:

$$m = S \cdot l_p \cdot \rho = 370\,000 \cdot 4\,500 \cdot 7\,850 \cdot 10^{-9} = \underline{13\,070,25 \text{ kg}}$$

### Síla od vlastní hmotnosti

$$F = m \cdot g = 13\,070,25 \cdot 9,81 = \underline{128\,219,2 \text{ N}}$$

### Síla na jednotku délky

$$q = \frac{F}{l_p} = \frac{128\,219,2}{4\,500} = \underline{28,49 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

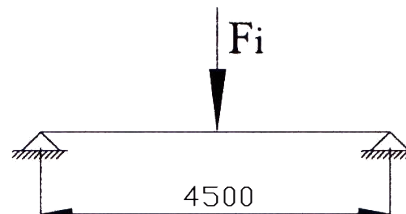
$$M_o = \frac{q \cdot l_p^2}{8} = \frac{28,49 \cdot 4\,500^2}{8} = \underline{72,1153 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

$$\sigma_{om} = \frac{M_o}{W_{o1}} = \frac{72,1153 \cdot 10^6}{36,511 \cdot 10^6} = \underline{1,975 \text{ MPa}}$$

### Průhyb od vlastní hmotnosti

$$y_m = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l_p^4}{E \cdot I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{28,49 \cdot 4\,500^4}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,306 \cdot 10^{10}} \doteq \underline{0,055 \text{ mm}}$$

### Namáhání od položeného ingotu



$$m_i = 40 \text{ t} = 40\,000 \text{ kg}$$

$$F_i = m_i \cdot g = 40\,000 \cdot 9,81 = \underline{392\,400 \text{ N}}$$

$$M_o = \frac{F_i \cdot l_p}{4} = \frac{392\,400 \cdot 4\,500}{4} = \underline{4,4145 \cdot 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_{o1}} = \frac{4,4145 \cdot 10^8}{36,511 \cdot 10^6} = \underline{16,65 \text{ MPa}}$$

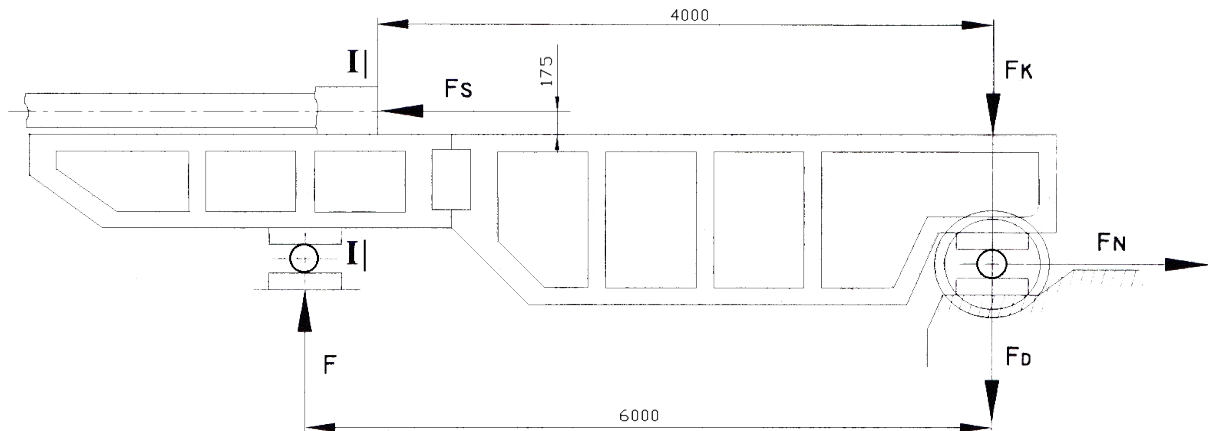
### Průhyb od tíhy ingotu

$$y_i = \frac{1}{48} \cdot \frac{F_i \cdot l_p^3}{E \cdot I} = \frac{1}{48} \cdot \frac{392\,400 \cdot 4\,500^3}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,306 \cdot 10^{10}} \doteq \underline{0,27 \text{ mm}}$$

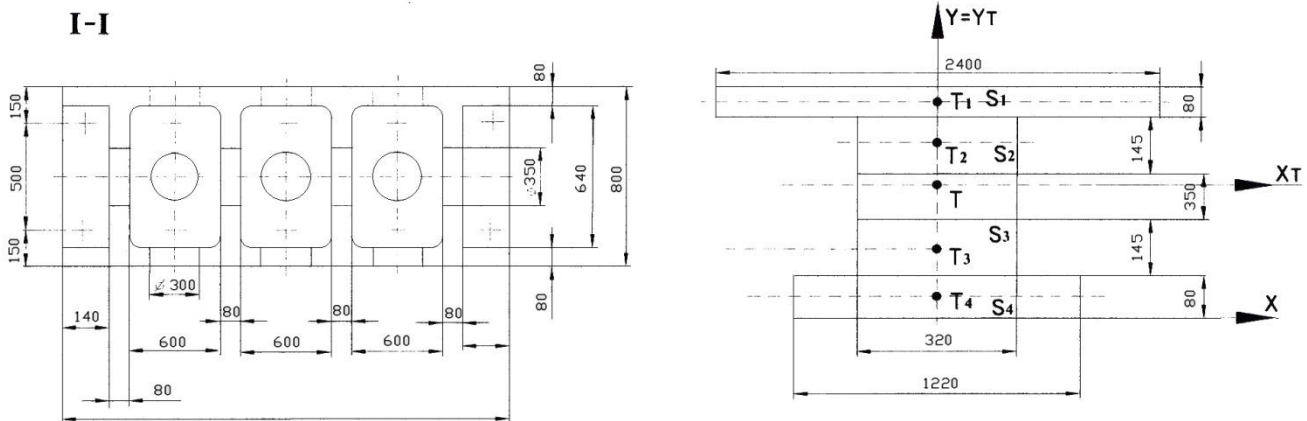
### Celkový průhyb posuvové desky

$$y_c = y_m + y_i = 0,055 + 0,27 = \underline{0,325 \text{ mm}} < 0,5 \text{ mm} \Rightarrow \text{podmínka průhybu je splněna}$$

### Lože posuvu



### Výpočtový model:



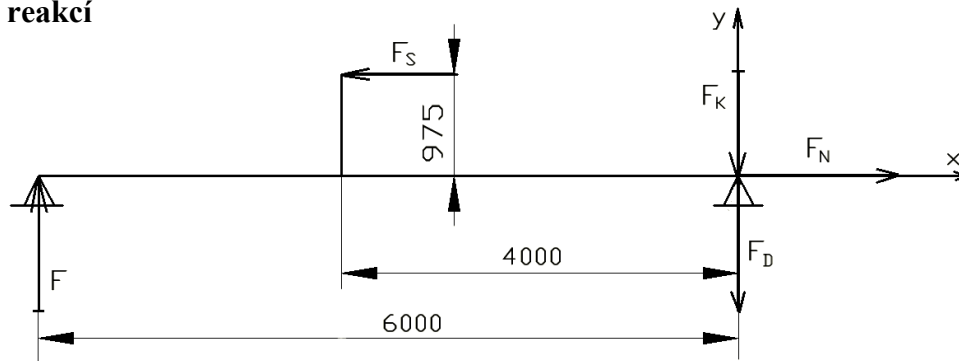
	$S_i$ [mm <sup>2</sup> ]	$y_{T_i}$ [mm]	$y_{T_{Li}}$ [mm]	$I_i$ [mm <sup>4</sup> ]	$S_i \cdot y_{T_{Li}}^2$ [mm <sup>4</sup> ]
1	142000	760	271,13	$102,4 \cdot 10^6$	$1,4114 \cdot 10^{10}$
2	46400	647,5	158,63	$81,3 \cdot 10^6$	$1,1676 \cdot 10^9$
3	46400	152,5	336,37	$81,3 \cdot 10^6$	$5,25 \cdot 10^9$
4	97600	40	448,87	$52,05 \cdot 10^6$	$1,966 \cdot 10^{10}$
$\Sigma$	328400	-	-		$4,051 \cdot 10^{10}$

### Výpočet polohy těžiště:

$$y_T = \frac{S_1 \cdot y_{T_1} + S_2 \cdot y_{T_2} + S_3 \cdot y_{T_3} + S_4 \cdot y_{T_4}}{S} = \frac{192000 \cdot 760 + 46400 \cdot 647,5 + 46400 \cdot 152,5 + 97600 \cdot 40}{328400} = \underline{\underline{488,87 \text{ mm}}}$$

$x_T = 0$  - osa souměrnosti

### Výpočet reakcí



$$F_K = \frac{1}{2} \cdot (m_1 + m_2 + m_i) \cdot g = \frac{1}{2} \cdot (31\,651,2 + 13\,737,5 + 40\,000) \cdot 9,81 = \underline{418\,831,6\,N}$$

$$F_S = 636\,172,5\,N$$

$$x: -F_S + F_N = 0 \Rightarrow F_S = F_N = \underline{636\,172,5\,N}$$

$$y: F - F_D - F_K = 0 \Rightarrow F_D = F - F_K = 103378 - 418\,831,6 = \underline{-315\,453,6\,N}$$

$$M_D: F_S \cdot 975 - F \cdot 6\,000 = 0 \Rightarrow F = \frac{F_S \cdot 975}{6\,000} = \frac{636\,172,5 \cdot 975}{6\,000} \doteq \underline{103\,378\,N}$$

### Ohybový moment v místě I-I

$$M_o = F_D \cdot 4\,000 = 315\,453,6 \cdot 4\,000 = \underline{12,618 \cdot 10^8\,N \cdot mm^{-1}}$$

### Kontrola:

TAH:

$$W_{o1} = \frac{I}{y_T} = \frac{4,051 \cdot 10^{10}}{488,87} = \underline{82,86 \cdot 10^6\,mm^3}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_o}{W_{o1}} = \frac{12,618 \cdot 10^8}{82,86 \cdot 10^6} = \underline{15,23\,MPa}$$

$$\sigma_1 \leq \sigma_D \rightarrow \text{vyhovuje}$$

TLAK:

$$W_{o2} = \frac{I}{800 - y_T} = \frac{4,051 \cdot 10^{10}}{800 - 488,87} = \underline{130,2 \cdot 10^6\,mm^3}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_o}{W_{o2}} = \frac{12,618 \cdot 10^8}{130,2 \cdot 10^6} = \underline{9,69\,MPa}$$

$$\sigma_2 \leq \sigma_D \rightarrow \text{vyhovuje}$$

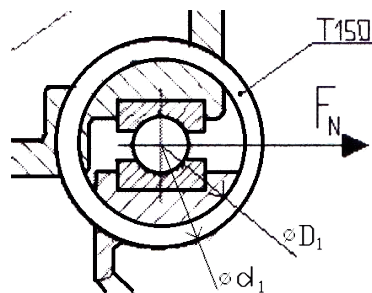
### Pevnostní kontrola zděře

- zvolený materiál 11500.1 →  $\sigma_D = 65 \div 95 \text{ MPa}$ , volím 2 zděře

$$\sigma = \frac{F_N}{S} = \frac{F_N}{4 \cdot h \cdot \delta} = \frac{636\,172,5}{4 \cdot 75 \cdot 150} \doteq \underline{14,14 \text{ MPa}}$$

$\sigma \leq \sigma_D \rightarrow$  vyhovuje

- materiál čepu kladky 11600 →  $\sigma_D = \underline{80 \text{ MPa}}$

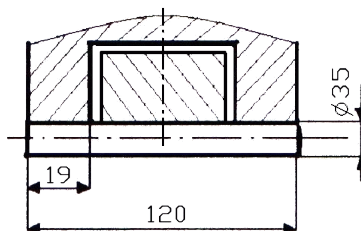


### Otlačení v plunžru:

$$F_{\check{c}} = \frac{m_p}{2} \cdot g = \frac{986,46}{2} \cdot 9,81 = \underline{4\,838,6 \text{ N}}$$

$$p = \frac{F_{\check{c}}}{2 \cdot S_{\check{c}}} = \frac{4\,838,6}{2 \cdot 35 \cdot 19} \doteq \underline{3,65 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

$p \leq p_D \rightarrow$  vyhovuje



### Ohyb:

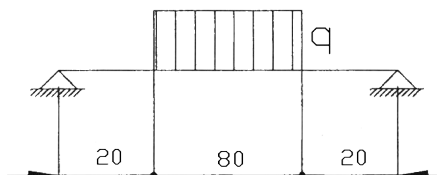
$$q = \frac{F_{\check{c}}}{80} = \frac{4\,838,6}{80} \doteq \underline{60,48 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

$$M_o = \frac{1}{8} \cdot q \cdot 80 \cdot (120 + 2 \cdot 20) = \frac{1}{8} \cdot 60,48 \cdot 80 \cdot (120 + 2 \cdot 20) = \underline{96\,768 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot d_{\check{c}}^3}{32} = \frac{\pi \cdot 35^3}{32} = \underline{4\,209,2 \text{ mm}^3}$$

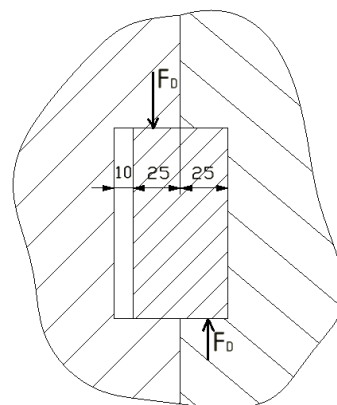
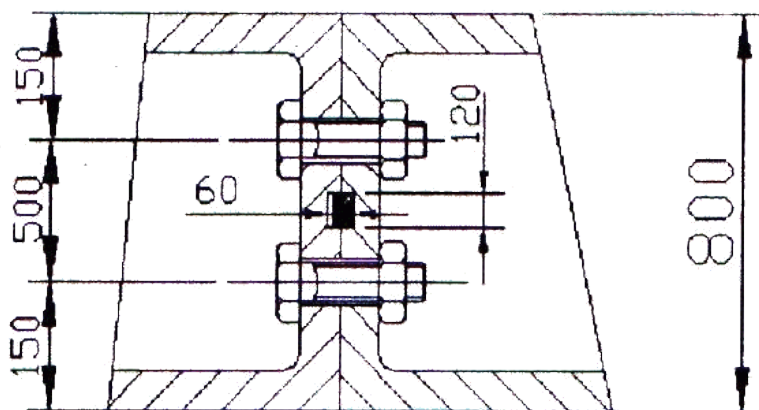
$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{96\,768}{4\,209,2} \doteq \underline{22,99 \text{ MPa}}$$

$\sigma_o \leq \sigma_D \rightarrow$  vyhovuje



### Spojení loží:

- materiál pera 11500.1 →  $\sigma_D = 80 \text{ MPa}$





### Kontrola pera:

OTLAČENÍ:

$$p = \frac{F_p}{S} = \frac{315\,453,6}{25 \cdot 2400} \doteq \underline{5,3 \text{ MPa}}$$

$p \leq p_D \rightarrow$  vyhovuje

SMYK:

$$\tau_s = \frac{F_D}{S_s} = \frac{315453,6}{2400 \cdot 120} \doteq \underline{1,1 \text{ MPa}}$$

$\tau_s \leq \tau_D \rightarrow$  vyhovuje

### Návrh a kontrola šroubů:

- materiál šroubů 11600  $\rightarrow \sigma_D = \underline{100 \text{ MPa}}$

$$M_o = F_o \cdot 2000 = 315\,453,6 \cdot 2000 \doteq \underline{630,907 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

Vzdálenost os šroubů  $y_1 = 650 \text{ mm}$ ,  $y_2 = 150 \text{ mm}$

### Napětí v 1. řadě šroubů:

$$\sigma_1 = \frac{M_o}{S_1 \cdot y_1 + S_2 \cdot \frac{y_2}{y_1}} \leq \sigma_D$$

Platí  $S_1 = S_2 = S$

$$\sigma_D \geq \frac{M_o}{S \cdot y_1 + S_2 \cdot \frac{y_2}{y_1}} \Rightarrow S = \frac{M_o}{\sigma_D \cdot \left(y_1 + \frac{y_2}{y_1}\right)} = 5 \cdot \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \Rightarrow d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot M_o}{\sigma_D \cdot \left(y_1 + \frac{y_2}{y_1}\right) \cdot \pi \cdot 5}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 630,907 \cdot 10^6}{\sigma_D \cdot \left(y_1 + \frac{y_2}{y_1}\right) \cdot \pi \cdot 5}}$$

$$\sigma_D = \underline{48,44 \text{ mm}}$$

Volím: 10 šroubů M56 ( $d_3 = 49,253 \text{ mm}$ )

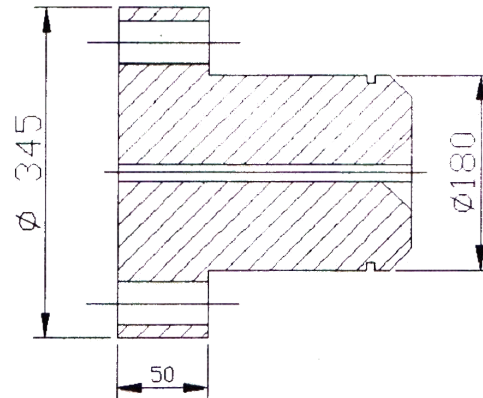
### Kontrola navržených šroubů

$$\sigma_1 = \frac{M_o}{5 \cdot \pi \cdot \frac{d_3^2}{4} \cdot y_1 + 5 \cdot \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \cdot \frac{y_2}{y_1}} = \frac{630,907 \cdot 10^6}{5 \cdot \pi \cdot \frac{49,253^2}{4} \cdot 650 + 5 \cdot \frac{\pi \cdot 49,253^2}{4} \cdot \frac{150^2}{650}} \doteq \underline{96,74 \text{ MPa}}$$

$\sigma_1 \leq \sigma_D \rightarrow$  vyhovuje

### Návrh víka válce

Zvolen materiál 11523.1  $\rightarrow \sigma_D = 65 \text{ MPa}, \tau_D = 32 \text{ MPa}, p_D = 20 \text{ MPa}$



### Návrh a kontrola šroubů:

Volím 8 šroubů M 42  $\rightarrow d_3 = \underline{36,479 \text{ mm}}$

$$\sigma = \frac{F}{S_j} = \frac{F}{8 \cdot \frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{p \cdot \frac{\pi \cdot 180^2}{4}}{8 \cdot \frac{\pi \cdot 36,479^2}{4}} = \underline{60,87 \text{ MPa}}$$

$\sigma \leq \sigma_D \rightarrow$  vyhovuje

Dle normy volím na průchozí víko válce 12 šroubů M 24  $\rightarrow d_3 = \underline{20,319 \text{ mm}}$

$$\sigma = \frac{p \cdot \frac{\pi \cdot 210^2}{4} - p \cdot \frac{\pi \cdot 180^2}{4}}{12 \cdot \frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{20 \cdot \left( \frac{\pi \cdot 210^2}{4} - \frac{\pi \cdot 180^2}{4} \right)}{12 \cdot \frac{\pi \cdot 20,319^2}{4}} = \underline{47,23 \text{ MPa}}$$

$\sigma \leq \sigma_D \rightarrow$  vyhovuje

Z tabulek:

$d = 180 \text{ mm}$                        $d_3 = 22 \text{ mm}$

$d_1 = 195 \text{ mm}$                        $t = 50 \text{ mm}$

$D = 210 \text{ mm}$                        $x = 4 \text{ mm}$

$D_1 = 245 \text{ mm}$                        $y = 15 \text{ mm}$

$D_2 = 345 \text{ mm}$

### Kontrola napětí v přírubě:

$$\sigma = \frac{3 \cdot D^2 \cdot p \cdot \left( D_1 - \frac{2}{3} D \right)}{4 \cdot [(D_2 - D - 2 \cdot d_3) \cdot t^2 + (D - d_1) \cdot (t + x)^2 + (d_1 - d) \cdot (t + x - y)^2]}$$

$$\sigma = \frac{3 \cdot 210^2 \cdot 20 \cdot \left( 245 - \frac{2}{3} \cdot 210 \right)}{4 \cdot [(345 - 210 - 2 \cdot 22) \cdot 50^2 + (210 - 195) \cdot (50 + 4)^2 + (195 - 180) \cdot (50 + 4 - 15)^2]}$$

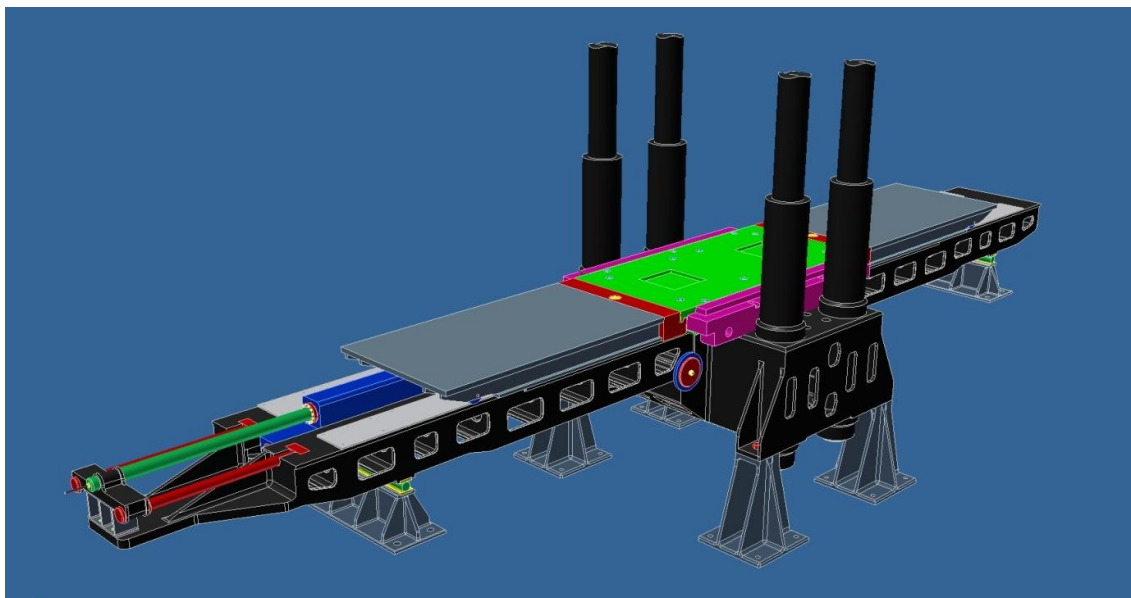
$$\sigma = \underline{23,6 \text{ MPa}}$$

$\sigma \leq \sigma_D \rightarrow$  vyhovuje

[6, 7, 8, 9]

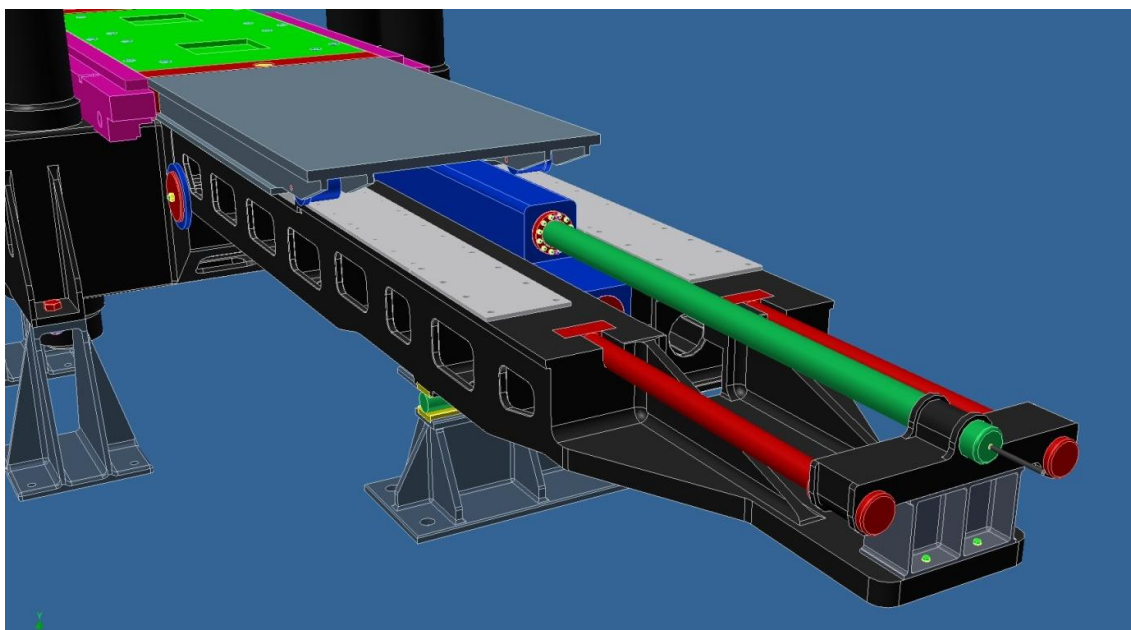
## 4.2. Konstrukční varianta č. 2

Posuv zajišťují opět dva hydromotory, ovšem liší se oproti první variantě konstrukčním uspořádáním. Motory jsou uloženy nad sebou a to jen na jedné straně lisu. Každý z nich pracuje v jednom směru. Opět musí být spolu načasovány tak, aby nedošlo ke kolizi. Oproti předchozí variantě je u tohoto uspořádání velký rozdíl v tom, jaké části jsou pevné a jaké se pohybují. Plunžry jsou pevně ukotveny k rámu lisu, válce jsou pohyblivé a spolu s nimi se pohybuje posuvová a kovací deska. Válce jsou spojené, jedná se tedy o jeden dvouválec.



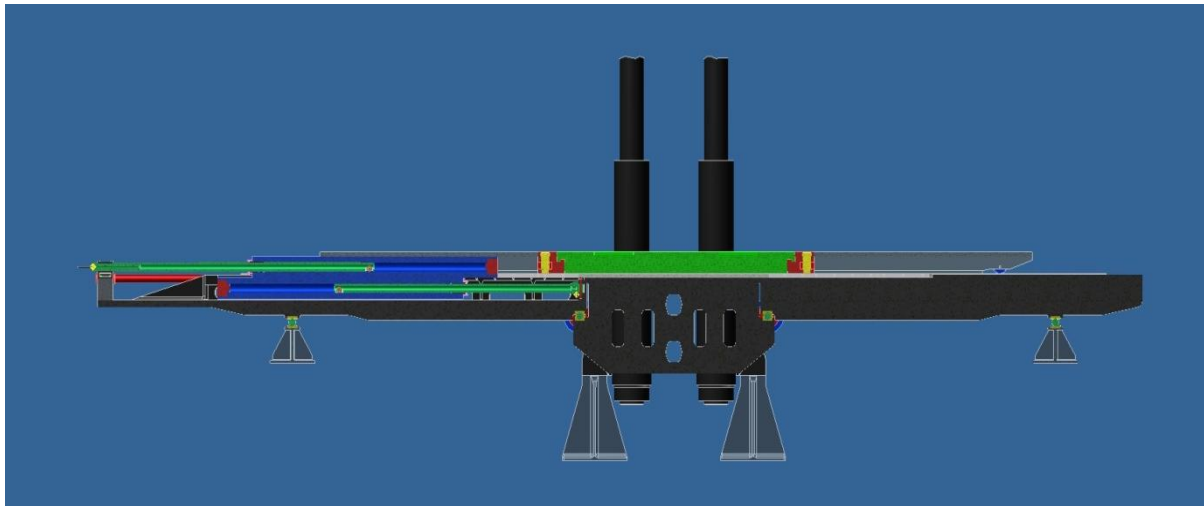
Obr. 4.2.1. Sestava druhé konstrukční varianty posuvu stolu

Na obrázku 4.2.1. je znázorněna sestava hydraulického lisu s pohonem na jedné straně lisu. Toto řešení je výhodné tím, že jedna strana lisu, na které není pohon, je výrazně jednodušší jak na výrobu, seřízení, tak na údržbu. Oproti tomu nevýhoda této varianty spočívá v tom, že rám stroje je nevyvážený a jednostranně namáhán.

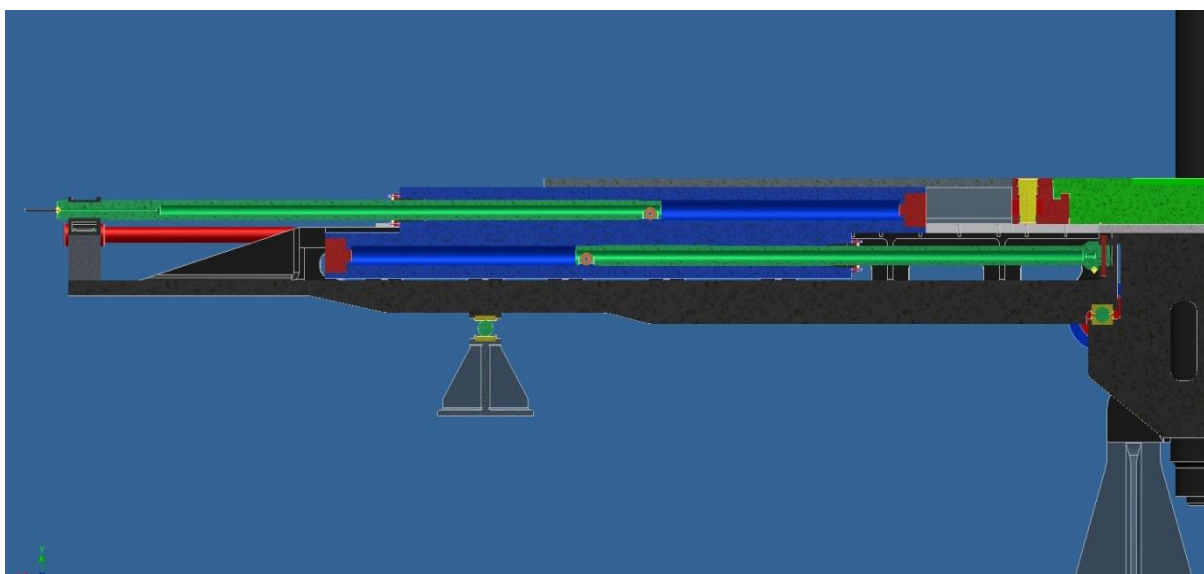


Obr. 4.2.2. Úprava rámu lisu pro uchycení plunžru

Následující dva obrázky znázorňují druhou variantu posuvu stolu v řezu. Obrázek 4.2.4. zachycuje detail pohonu. Opět můžeme vidět kovací a posuvovou desku, která je v tomto případě pevně spojena s dvouválcem (modrá barva). Plunžry jsou pevně uchyceny k rámu stroje a jsou provrtané kanálkem, který umožňuje přívod tlakového média pro pohon.



Obr. 4.2.3. Sestava druhé konstrukční varianty posuvu stolu v řezu



Obr. 4.2.4. Levá strana sestavy posuvu stolu v řezu

#### 4.2.1. Výpočet konstrukční varianty č. 2

##### **Zadání:**

Hmotnost ingotu  $m_i = 40 \text{ t}$

Hmotnost spodní části kovacího přístroje  $m_p = 35 \text{ t}$

Zdvih posuvu  $L = 4\,000 \text{ mm}$

Rozměry kovací desky  $\text{š} \times \text{h} \times \text{l} = 2\,400 \times 350 \times 4\,800 \text{ mm}$

Pracovní tlak  $p = 25 \text{ MPa}$

Pracovní kapalina – emulze vody s olejem

#### 4.2.1.1. Pohyblivé hmoty posuvu

##### Hmotnost kovací desky

$$V_1 = \check{s} \cdot h \cdot l = 2,4 \cdot 0,35 \cdot 4,8 = \underline{4,032 \text{ m}^3}$$

$$\rho = \underline{7\,850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}$$

$$m_1 = V_1 \cdot \rho = 4,032 \cdot 7\,850 = 31\,651,2 \text{ kg} \doteq \underline{31,7 \text{ t}}$$

##### Hmotnost posuvové desky

$$a = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$$

$$b = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$$

$$c = 50 \text{ mm} = 0,05 \text{ m}$$

$$d = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$$

$$e = 50 \text{ mm} = 0,05 \text{ m}$$

$$h = 650 \text{ mm} = 0,65 \text{ m}$$

$$\check{s} = 2\,400 \text{ mm} = 2,4 \text{ m}$$

$$T = 5\,000 \text{ mm} = 5 \text{ m}$$

$$V_A = a \cdot \check{s} \cdot T = 0,1 \cdot 2,4 \cdot 5 = \underline{1,2 \text{ m}^3}$$

$$m_A = V_A \cdot \rho = 1,2 \cdot 7\,850 = \underline{9\,420 \text{ kg}}$$

$$V_B = e \cdot b \cdot T = 0,05 \cdot 0,5 \cdot 5 = \underline{0,125 \text{ m}^3}$$

$$m_B = V_B \cdot \rho = 0,125 \cdot 7\,850 = \underline{981,25 \text{ kg}}$$

$$V_C = T \cdot c \cdot d = 5 \cdot 0,05 \cdot 0,5 = \underline{0,125 \text{ m}^3}$$

$$m_C = V_C \cdot \rho = 0,125 \cdot 7\,850 = \underline{981,25 \text{ kg}}$$

##### Spojovací člen

$$V_{S\check{C}} = h \cdot d \cdot \check{s} = 0,65 \cdot 0,5 \cdot 2,4 = \underline{0,78 \text{ m}^3}$$

$$m_{S\check{C}} = V_{S\check{C}} \cdot \rho = 0,78 \cdot 7\,850 = \underline{6\,123 \text{ kg}}$$

##### Celková hmotnost posuvové desky

$$m_2 = m_A + 4 \cdot m_B + 2 \cdot m_C + m_{S\check{C}} = 9\,420 + 4 \cdot 981,25 + 2 \cdot 981,25 + 6\,123 = \underline{21\,430,5 \text{ kg}}$$

### Hydraulický válec

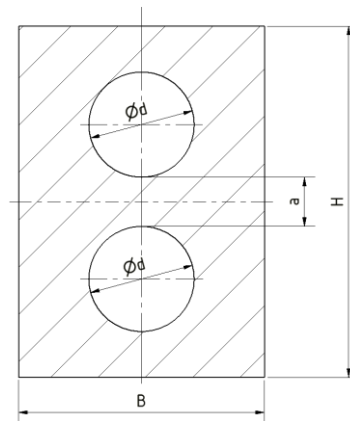
$$a = 45 \text{ mm} = 0,045 \text{ m}$$

$$H = 495 \text{ mm} = 0,495 \text{ m}$$

$$\varnothing d = 180 \text{ mm} = 0,18 \text{ m}$$

$$B = 270 \text{ mm} = 0,27 \text{ m}$$

$$T = 4\,000 \text{ mm} = 4 \text{ m}$$



$$V_3 = S \cdot T = \left[ H \cdot B - \left( 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) \right] \cdot T = \left[ 0,495 \cdot 0,27 - \left( 2 \cdot \frac{\pi \cdot 0,18^2}{4} \right) \right] \cdot 4 \doteq \underline{0,331 \text{ m}^3}$$

$$m_3 = V_3 \cdot \rho_3 = 0,331 \cdot 7\,850 = \underline{2\,598,35 \text{ kg}}$$

### Hmotnost ingotu $m_i$

$$m_i = 40\,000 \text{ kg} = 40 \text{ t}$$

### Hmotnosti kovacího přístroje $m_p$

$$m_p = 35\,000 \text{ kg} = 35 \text{ t}$$

### Celková hmotnost pohyblivých hmot a síla posuvu

Celková hmotnost:

$$m_c = m_1 + 2 \cdot m_2 + m_3 + m_i + m_p$$

$$m_c = 31\,651,2 + 2 \cdot 21\,430,5 + 2\,598,35 + 40\,000 + 35\,000 = \underline{152\,110,55 \text{ kg}}$$

### Celková síla

$$F_c = m_c \cdot g = 152\,110,55 \cdot 9,81 = \underline{1\,492\,204,5 \text{ N}}$$

### Síla posuvu

$$\text{Součinitel tření } f = 0,2 \div 0,5$$

$$F_p = f \cdot F_c = 0,35 \cdot 1\,492\,204,5 = \underline{522\,271,6 \text{ N}}$$

#### 4.2.1.2. Návrh hydromotoru (hydraulický válec)

##### Průměr plunžru

$$d_{teor} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_p}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 522\,271,6}{\pi \cdot 25}} = \underline{163,1 \text{ mm}} \Rightarrow \text{dle normy volím } \varnothing d = \underline{180 \text{ mm}}$$

- z tabulek pro ucpávky volím  $d = \underline{180 \text{ mm}}$

##### Rozměry válce a kontrola dle S.V. a HMH

Materiál válec: 13123.5;  $\sigma_D = 80 \text{ MPa}$

$$r_1 = \frac{d}{2} = \frac{180}{2} = \underline{90 \text{ mm}}$$

##### S. V. metoda

$$\kappa_{SV} = \sqrt{\frac{0,4 \cdot p + \sigma_D}{\sigma_D - 1,3 \cdot p}} = \sqrt{\frac{0,4 \cdot 25 \cdot 10^6 + 80 \cdot 10^6}{80 \cdot 10^6 - 1,3 \cdot 25 \cdot 10^6}} \doteq \underline{1,3765}$$

$$\kappa_{SV} = \frac{r_1}{r_2} \Rightarrow r_2 = \kappa_{SV} \cdot r_1 = 1,3765 \cdot 90 = \underline{123,885 \text{ mm}}$$

##### HMH metoda

$$\kappa_{HMH} = \sqrt{\frac{\sigma_D}{\sigma_D - \sqrt{3} \cdot p}} = \sqrt{\frac{80 \cdot 10^6}{80 \cdot 10^6 - \sqrt{3} \cdot 25 \cdot 10^6}} \doteq \underline{1,4765}$$

$$\kappa_{HMH} = \frac{r_1}{r_2} \Rightarrow r_2 = \kappa_{HMH} \cdot r_1 = 1,4765 \cdot 90 = \underline{132,885 \text{ mm}}$$

Z výše uvedeného volím (včetně bezpečnosti)  $r_2 = \underline{135 \text{ mm}}$

##### Síla hydraulického válce – kontrola

$$F_s = S \cdot p = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot p = \frac{\pi \cdot 180^2}{4} \cdot 25 = \underline{636\,172,5 \text{ N}}$$

$F_s > F_p \Rightarrow$  vyhovuje

### Plunžr posuvu

- s ohledem na úsporu materiálu a odlehčení součásti volím dutý plunžr

$$\varnothing d = 180 \text{ mm}$$

$$\varnothing d_1 = 80 \text{ mm}$$

$$l = 4\,000 \text{ mm}$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = \frac{\pi}{4} \cdot (180^2 - 80^2) = \underline{20\,420,4 \text{ mm}^2}$$

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64} - \frac{\pi \cdot d_1^4}{64} = \frac{\pi}{64} \cdot (180^4 - 80^4) = \underline{4,9519 \cdot 10^7 \text{ mm}^4}$$

### Průhyb od vlastní hmotnosti

Zatížení na 1 m délky  $q$ :

$$q = S \cdot l \cdot g \cdot \rho = 20\,420,4 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot 7\,850 \cdot 10^{-6} = \underline{1\,572,54 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

### Průhyb

$$x = \frac{q \cdot l^4}{8 \cdot E \cdot J} = \frac{1\,572,54 \cdot 4^4}{8 \cdot 210\,000 \cdot 4,9519 \cdot 10^7} = \underline{3,87 \text{ mm}} \rightarrow \text{nutno podepřít kladkou na konci}$$

$$v = 0,0054 \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot J} = 0,0054 \cdot \frac{1\,572,54 \cdot 4^4}{210\,000 \cdot 4,9519 \cdot 10^7} \doteq \underline{0,209 \text{ mm}}$$

### Vzpěr ve vysunutém stavu

$$\text{Mezní štíhlost } \lambda_{mez} = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_u}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210\,000}{265}} = \underline{88,44}$$

$$\text{Skutečná štíhlost } \lambda = l \cdot \sqrt{\frac{S}{J}} = 4\,000 \cdot \sqrt{\frac{20\,420,4}{4,9519 \cdot 10^7}} \doteq \underline{81,23}$$

$\lambda_{mez} > \lambda \Rightarrow$  výpočet dle Tatmayera

$$\sigma_{KRIT} = a - b \cdot \lambda = 578 - 3,75 \cdot 81,23 = \underline{273,388 \text{ MPa}}$$

$$F_D = S \cdot \sigma_{KRIT} = 20\,420,4 \cdot 273,388 \doteq \underline{5,5827 \cdot 10^6 \text{ N}}$$

$F_D > F_S \Rightarrow$  vyhovuje



### Válec posuvu

- materiál 13123.5  $\rightarrow \sigma_D = 80 \text{ MPa}$

#### a) klasický výpočet od vnitřního tlaku

$$r_1 = 90 \text{ mm}$$

$$r_2 = 135 \text{ mm}$$

$$\kappa = \frac{r_2}{r_1} = \frac{135}{90} = \underline{1,5}$$

$$\sigma_O = \frac{p}{\kappa^2 - 1} = \frac{25}{1,5^2 - 1} = \underline{20 \text{ MPa}} \quad ; \quad \sigma_{r_{r_1}} = -p = \underline{-25 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{t_{r_1}} = 2 \cdot \sigma_O + p = 2 \cdot 20 + 25 = \underline{65 \text{ MPa}}$$

#### Redukované napětí dle teorie S.V. a HMM:

##### - metoda S.V.

$$\sigma_{RED_{SV}} = \sigma_{t_{r_1}} - \mu \cdot (\sigma_{r_{r_1}} + \sigma_O) = 65 - 0,3 \cdot (-25 + 20) = \underline{66,5 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{RED_{SV}} \leq \sigma_D \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

##### - metoda HMM

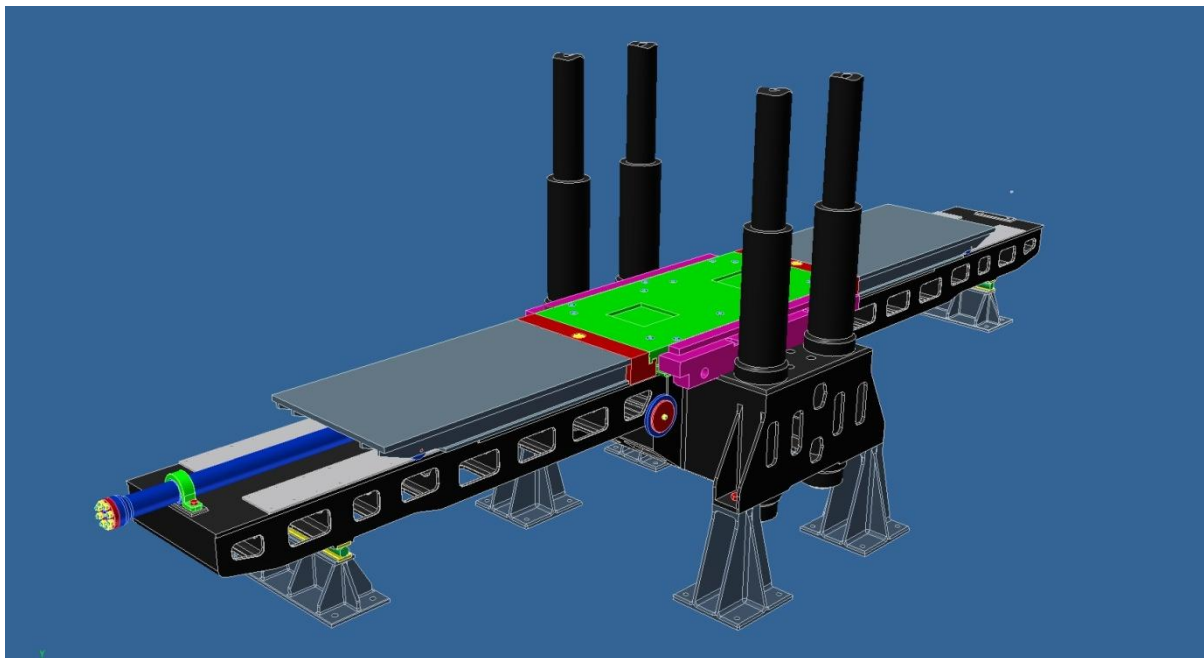
$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_{t_{r_1}}^2 + \sigma_{r_{r_1}}^2 + \sigma_O^2 - \sigma_{r_{r_1}} \cdot \sigma_{t_{r_1}} - \sigma_{t_{r_1}} \cdot \sigma_O - \sigma_{r_{r_1}} \cdot \sigma_O}$$

$$\sigma_{RED} = \sqrt{60^2 + (-25)^2 + 20^2 - (-25) \cdot 65 - 65 \cdot 20 - (-25) \cdot 20} \doteq \underline{73,82 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{RED_{HMM}} \leq \sigma_D \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

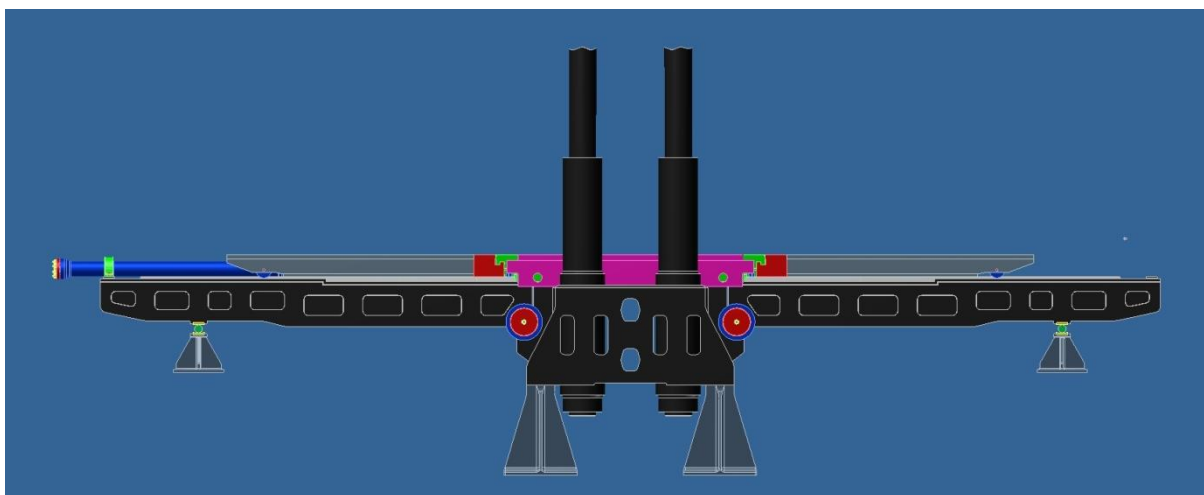
### 4.3. Konstrukční varianta č. 3

Pohyb stolu je vyvozen od jednoho dvojčinného hydromotoru, který pracuje obousměrně. Tento hydromotor je umístěn na jedné straně lisu. Válec je pevně ukotven k rámu lisu, plunžr je pohyblivý a je spojený s posuvovou a dále s kovací deskou, která se tedy pohybuje. Tato varianta je náročnější na utěsnění a pístnice je více namáhaná na vzpěr.

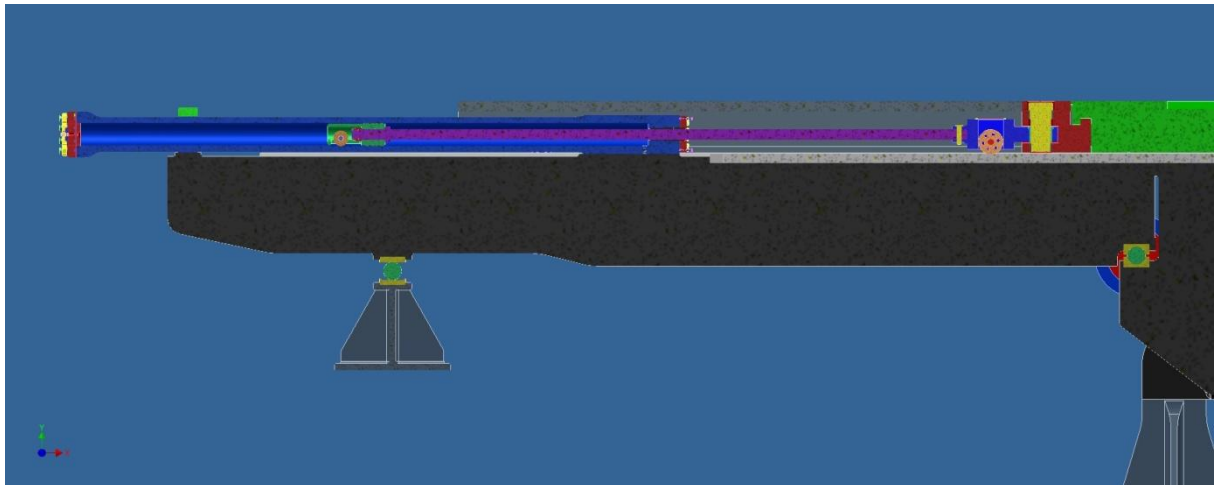


Obr. 4.3.1. Sestava třetí konstrukční varianty posuvu stolu

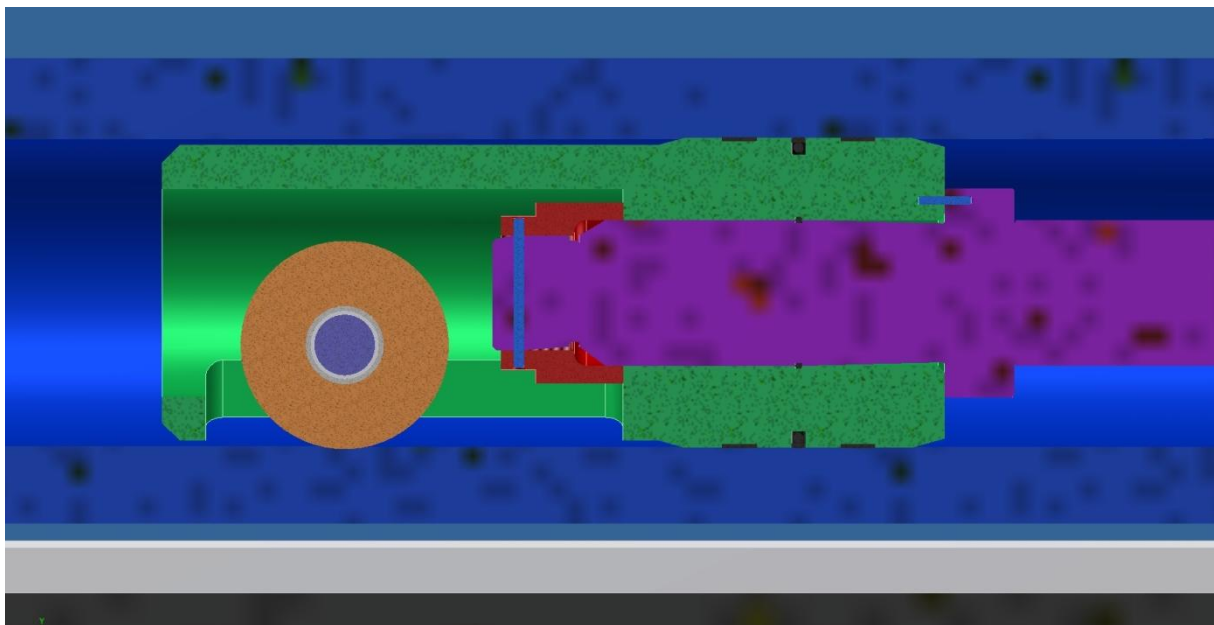
Na obrázcích 4.3.1. a 4.3.2. vidíme, že tato konstrukční varianta je na první pohled velmi podobná variantě první, liší se jen v počtu pohonů. A to tak, že v tomto případě je pohyb zajištěn jen jedním hydraulickým válcem umístěným např. na levé straně lisu. Tento pohon je ovšem řešen zcela odlišně než v prvním případě, jedná se totiž o dvojčinný hydromotor, jehož konstrukce je znázorněna na obrázku 4.3.3. Tlaková pracovní kapalina je vpouštěna do válce do prostoru před píst, nebo do prostoru za píst. To umožňuje pohyb stolu v obou směrech.



Obr. 4.3.2. Sestava třetí konstrukční varianty posuvu stolu



Obr. 4.3.3. Detail pohonu třetí varianty posuvu stolu v řezu



Obr. 4.3.4. Spojení pístu s pístnicí v hydraulickém válci

Na obrázku 4.3.4. je detailně znázorněn píst (zelená barva), který musí být utěsněn proti úniku tlakové kapaliny z prostoru před pístem do prostoru za píst a opačně. Píst je ve válci (modrá barva) veden pomocí dvojice vodících kroužků. Těsnění mezi válcem a pístem je zajištěno dynamickým těsněním, mezi pístem a pístnicí (fialová barva) je vložen statický těsnící kroužek. Obě součásti jsou k sobě dotaženy maticí (červená barva), která je zajištěna kolíkem proti samovolnému povolání. Poloha pístu oproti pístnici je také zajištěna kolíkem.

Z konstrukčního řešení dvojčinného hydromotoru vyplývá, že při zpětném chodu (pohybu kovací desky „doleva“), působí pracovní kapalina na plochu pístu ve tvaru mezikruží. Tato plocha je zmenšena o průřez pístnice. V takovém případě by tedy hydromotor při zpětném chodu nebyl schopen vyvinout dostatečně velkou sílu pro posuv stolu. Z tohoto důvodu je nutná úprava rozměrů pístu a hydraulického válce tak, aby plocha mezikruží odpovídala požadované hodnotě pro vyvinutí dostatečně velké síly posuvu. Tato úprava je provedena v následujícím výpočtu.

### 4.3.1. Výpočet konstrukční varianty č. 3

#### Výpočet průměru pístnice

materiál pístnice – ocel 14 220.3 →  $R_e = 600 \text{ MPa}$ ; bezpečnost  $k = 5$

Dovolené napětí  $\sigma_D$ :

$$\sigma_D = \frac{R_e}{k} = \frac{600}{5} = \underline{120 \text{ MPa}}$$

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d_p^2} \Rightarrow d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot \sigma_D}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 508\,284,77}{\pi \cdot 120}} = \underline{73,44 \text{ mm}}$$

- dle normy volím průměr pístnice  $\varnothing d_p = \underline{90 \text{ mm}}$

#### Výpočet potřebné plochy

$$F = S \cdot p \Rightarrow S = \frac{F}{p} = \frac{508\,284,77}{25} = \underline{20\,311,4 \text{ mm}^2}$$

#### Výpočet rozměrů mezikruží

$$S = \pi \cdot (R^2 - r^2)$$

$$S = \pi \cdot R^2 - \pi \cdot r^2 \Rightarrow R = \sqrt{\frac{S}{\pi} + \pi \cdot r^2} = \sqrt{\frac{20\,311,4}{\pi} + \pi \cdot 45^2} = \underline{113,3 \text{ mm}}$$

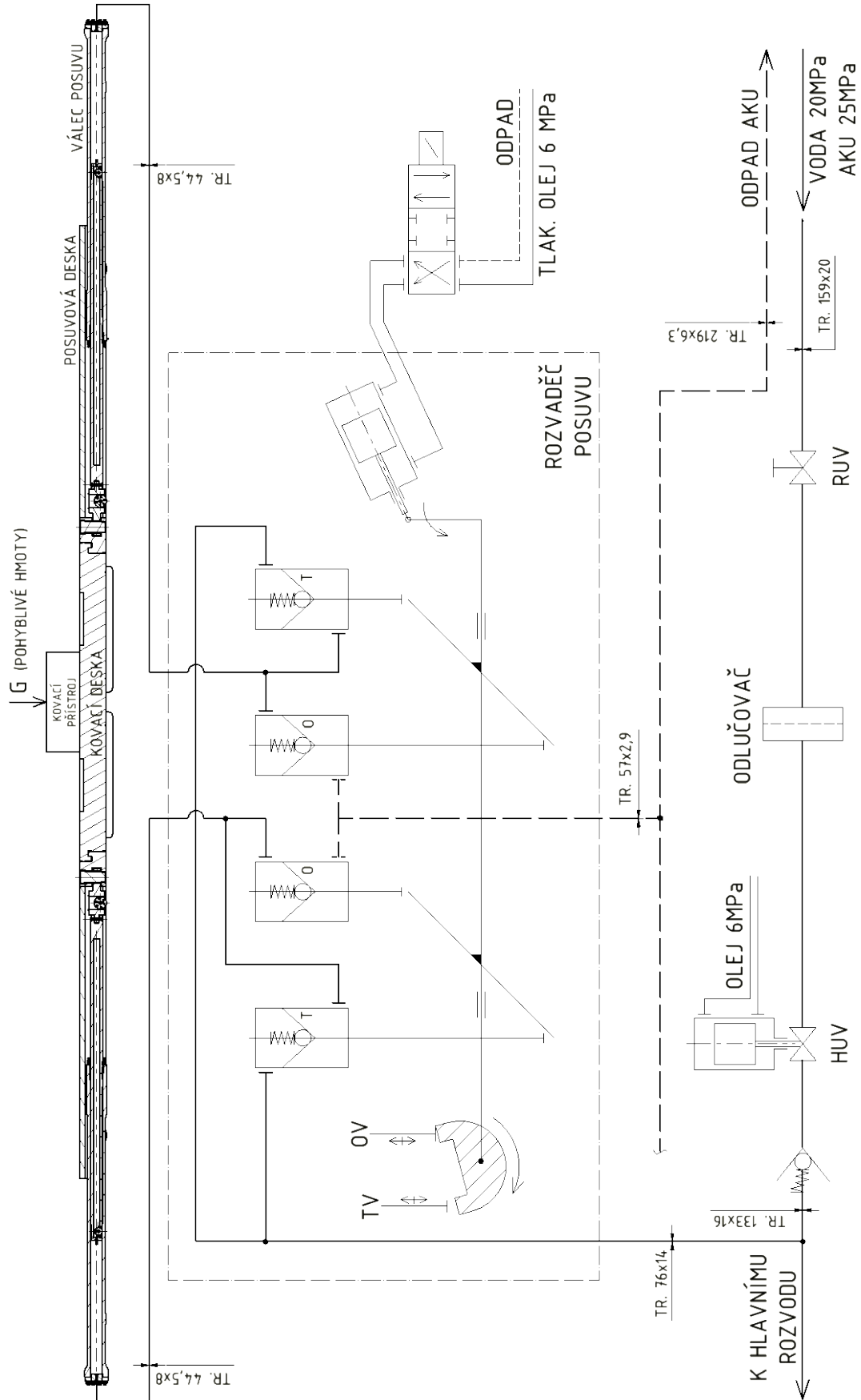
$$D = 2 \cdot R = 2 \cdot 113,3 = \underline{226,6 \text{ mm}}$$

- dle normy volím průměr pístu  $\varnothing d = \underline{230 \text{ mm}}$

[9]

## 4.4. Hydraulické schéma

Obrázek 4.4.1. znázorňuje rozvod a regulaci tlakového média sloužícího pro pohon posuvů stolů hydraulických lisů. Médium je emulze vody s olejem o pracovním tlaku 25 MPa. Rozvaděč posuvu slouží k řízení toku média, zajišťuje synchronizaci pohonů. Když jeden z válců (s plunžrem) pracuje, druhý je ve stejný okamžik odlehčen a emulze je tak odváděna do zásobníku. Poté se rozvaděč přestaví a celý děj probíhá opačně. Posuv lze také kdykoli zastavit v libovolné poloze a poté pokračovat v posuvu.



Obr. 4.4.1. Hydraulické schéma rozvodu pracovní kapaliny

## 5. Závěr

Z technického hlediska splňují všechny tři konstrukční varianty posuvů stolů hydraulických lisů požadavky zadání. Při posouzení ekonomického hlediska vyjdeme z následujících tabulek (Tab. II., Tab. III., Tab. IV.), kde je uvedena hmotnost jednotlivých dílů a náklady za použitý materiál. V tabulce V. je provedeno konečné srovnání jednotlivých variant posuvů stolů.

Ceny za materiál jsou aktuální pro květen 2012 a vychází ze spolupráce s firmou ŠKODA MACHINE TOOL a.s. Plzeň. Tabulka I. udává jejich přehled.

Tab. I.: Náklady na použité materiály

Materiál	Cena
13123.5	55,- Kč/kg
15241.7	60,- Kč/kg
422643.5	70,- Kč/kg
422430	40,- Kč/kg
Válcovaný materiál	35,- Kč/kg

Tab. II.: Ekonomická hodnota konstrukční varianty č. 1

KONSTRUKČNÍ VARIANTA č. 1						
		Materiál	Počet [ks]	Hmotnost 1 ks [kg]	Hmotnost celková [kg]	Cena [Kč]
VÝKOVKY	Hydraulický válec	13123.5	2	1 514	3 028	166 540
	Plunžr	13123.5	2	1 025	2 050	112 750
	Spojovací kus	13123.5	2	172	344	18 920
	Píst	13123.5	-	-	-	-
	Kluzné desky	15241.7	2	5 810	11 620	696 000
ODLITKY	Kovací deska	422643.5	1	34 821	34 821	2 437 470
	Posuvová deska	422643.5	2	13 737	27 474	1 923 180
	Hydraulický válec	422643.5	-	-	-	-
	Traverza střední	422643.5	1	103 759	103 759	7 263 130
	Traverza levá	422643.5	1	19 591	19 591	1 371 370
	Traverza pravá	422643.5	1	19 591	19 591	1 371 370
	Patka velká	422643.5	4	2 440	9 760	683 200
	Patka malá	422643.5	2	2 034	4 068	284 760
	Kluzné desky třecí	422430	2	2 040	4 080	163 200
VÁLCOVANÝ MATERIÁL		-	-	-	13 816	483 560
OSTATNÍ (TĚSNĚNÍ)		-	-	-	-	2 500
<b>CELKEM</b>					<b>254 002</b>	<b>16 977 950</b>

Tab. III.: Ekonomická hodnota konstrukční varianty č. 2

KONSTRUKČNÍ VARIANTA č. 2						
		<i>Materiál</i>	<i>Počet [ks]</i>	<i>Hmotnost 1 ks [kg]</i>	<i>Hmotnost celková [kg]</i>	<i>Cena [Kč]</i>
VÝKOVKY	Hydraulický válec	13123.5	-	-	-	-
	Plunžr	13123.5	2	1 110	2 220	122 100
	Spojovací kus	13123.5	-	-	-	-
	Píst	13123.5	-	-	-	-
	Kluzné desky	15241.7	2	5 810	11 620	697 200
ODLITKY	Kovací deska	422643.5	1	34 821	34 821	2 437 470
	Posuvová deska	422643.5	2	13 737	27 474	1 923 180
	Hydraulický válec	422643.5	1	10 210	10 210	714 700
	Traverza střední	422643.5	1	103 759	103 759	7 263 130
	Traverza levá	422643.5	1	20 160	20 160	1 411 200
	Traverza pravá	422643.5	1	19 588	19 588	1 371 160
	Patka velká	422643.5	4	2 440	9 760	683 200
	Patka malá	422643.5	2	2 034	4 068	284 760
Kluzné desky třecí	422430	2	2 040	4 080	163 200	
VÁLCOVANÝ MATERIÁL		-	-	-	12 634	442 190
OSTATNÍ (TĚSNĚNÍ)		-	-	-	-	2 500
<b>CELKEM</b>					<b>260 394</b>	<b>17 515 990</b>

Tab. IV.: Ekonomická hodnota konstrukční varianty č. 3

KONSTRUKČNÍ VARIANTA č. 3						
		<i>Materiál</i>	<i>Počet [ks]</i>	<i>Hmotnost 1 ks [kg]</i>	<i>Hmotnost celková [kg]</i>	<i>Cena [Kč]</i>
VÝKOVKY	Hydraulický válec	13 123.5	1	3 585	4 585	252 175
	Plunžr	13 123.5	-	-	-	-
	Spojovací kus	13 123.5	1	269	269	14 795
	Píst	13 123.5	1	112	112	6 160
	Kluzné desky	15 241.7	2	5 810	11 620	697 200
ODLITKY	Kovací deska	422643.5	1	34 821	34 821	2 437 470
	Posuvová deska	422643.5	2	13 737	27 474	1 923 180
	Hydraulický válec	422643.5	-	-	-	-
	Traverza střední	422643.5	1	103 759	103 759	7 263 130
	Traverza levá	422643.5	1	19 591	19 591	1 371 370
	Traverza pravá	422643.5	1	19 591	19 591	1 371 370
	Patka velká	422643.5	4	2 440	9 760	683 200
	Patka malá	422643.5	2	2 034	4 068	284 760
Kluzné desky třecí	422430	2	2 040	4 080	163 200	
VÁLCOVANÝ MATERIÁL		-	-	-	15 817	553 595
OSTATNÍ (TĚSNĚNÍ)		-	-	-	-	5 000
<b>CELKEM</b>					<b>254 547</b>	<b>17 026 569</b>

Tab. V.: Porovnání jednotlivých variant

	<b>CELKOVÁ HMOTNOST</b>	<b>CELKOVÉ NÁKLADY</b>
<b>KONSTRUKČNÍ VARIANTA č. 1</b>	<b>254 002 kg</b>	<b>16 977 950 Kč</b>
<b>KONSTRUKČNÍ VARIANTA č. 2</b>	260 394 kg	17 515 990 Kč
<b>KONSTRUKČNÍ VARIANTA č. 3</b>	254 547 kg	17 026 569 Kč

V této práci jsem se pokusil přiblížit problematiku zajištění posuvů stolů u hydraulických lisů. Zvolení optimální konstrukční varianty je složité, protože každá varianta je výhodná z určitého konkrétního hlediska.

Cenově nejvýhodnější je první varianta posuvu stolu, kde je pohyb řešen dvojicí hydromotorů. Hlavní přednost je v celkové hmotnosti, která vychází z Tab. V. Další předností je jednoduchost dílů a to především válce, plunžru a také je zde jednodušší utěsnění. Nevýhodou je, že se uložení motorů musí zajistit na obou stranách lisu, ale zatížení rámu je zde rovnoměrné, což je žádoucí.

Druhá varianta je výhodnější z hlediska úspory prostoru pro zabudování lisu a to především díky uložení pohonu stolu, který postačí vyřešit pouze na jedné straně rámu lisu. Složitější je zde ale výroba dvouválců a úprava rámu tak, aby sloužil k uchycení pevného plunžru. Také celková hmotnost u této varianty vychází vyšší a konstrukce lisu je namáhána nevyváženě, což je považováno za nevýhody.

Třetí varianta by se v praxi použila pravděpodobně jen na menších lisech. Výhodná je nižší hmotnost a značná jednoduchost, protože k obousměrnému pohybu postačí pouze jeden hydraulický válec a jeden píst. Ovšem jeho konstrukce je složitější a tedy i finančně náročnější. Největší problematikou u této varianty je utěsnění pístu s pístnicí a také utěsnění pístnice ve válci pomocí ucpávek.



## **Poděkování**

Děkuji všem pracovníkům Katedry konstruování strojů ZČU v Plzni, kteří se na zpracování této práce podíleli. Jmenovitě pak vedoucímu bakalářské práce Ing. Miroslavu Duníkovi za odborné vedení, poskytnuté rady, projevenou ochotu a příjemnou spolupráci.

## **Seznam použité literatury**

- [1] STANĚK, J. *Základy stavby výrobních strojů - tvářecí stroje*. Plzeň: ZČU, 2001
- [2] ČECHURA, M., STANĚK, J. *Tvářecí stroje: hydraulické lisy*. Plzeň: ZČU, 1999
- [3] <http://www.oldbookillustrations.com>
- [4] <http://etc.usf.edu>
- [5] MAŇAS, S. *Hydraulické mechanismy strojů a zařízení* Praha: ČVUT, 1991
- [6] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra 1*. Praha: Computer Press, 1999
- [7] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra 2*. Praha: Computer Press, 2000
- [8] ZELENÝ, J. *Stavba strojů – strojní součásti*. Praha: Computer Press, 2003
- [9] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Praha: Albra, 2003
- [10] <http://www.wikipedie.cz>