

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra **K S D**

Školní rok: **1992**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro **Bohdana Šilhána**

obor **23-20-8 Stroje a zařízení pro strojírenskou výrobu
zaměření Stroje a zařízení pro průmyslovou dopravu**

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Zdvíhací zařízení pro manipulaci s kontejnery**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte konstrukční návrh zdvihacího zařízení pro vozík typu SV 150 A pro manipulaci s částečně leženými kontejnery 2C a 1CC o celkové hmotnosti 8 000 kg.**
- 2. Proveďte výpočet zdvihacího rámu a spreaderu, dále proveďte pevnostní kontrolu jednotlivých dílů /budou specifikovány v průběhu řešení/.**
- 3. Ověřte pevnost a stabilitu zdvihacího zařízení /s kontejnerem/ při působení větru /porovnejte s krit. hodnotou rychl. větru/.**

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Obřadní síň
STUDENTSKÁ 5
701 17 LIBEREC

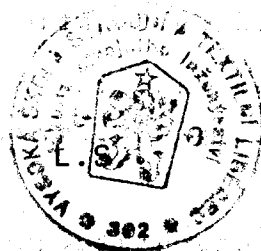
KSD/SPD

✓ 142/925

Rozsah grafických prací: **výkres sestavení, výrobní výkresy**
Rozsah průvodní zprávy: **cca 40 stran**
Seznam odborné literatury: **technické podklady /Transporta
Chrudim/**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Miroslav Malý, CSc.**
Konzultant: **Ing. Karel Kubátek /Transporta
Chrudim/**

Zadání diplomové práce: **31.10.1991**
Termín odevzdání diplomové práce: **29.05.1992**



Vedoucí katedry

Doc. Ing. Stanislav Beroun, CSc.

Děkan

Prof. Ing. Jaroslav Exner, CSc.

V Liberci

dne **31.10.** 19 **91**

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

Fakulta strojní

Katedra strojů průmyslové dopravy

Obor 23 - 20 - 8

stroje a zařízení pro strojírenskou výrobu

zaměření

stroje a zařízení pro průmyslovou dopravu

Zdvihací zařízení pro manipulaci s kontejnery

KSD- 253

Bohdan Š I L H Á N

Vedoucí diplomové práce: Ing. Miroslav Malý, CSc

Konzultant: Ing Karel Krbálek /Transporta Chrudim/

Rozsah práce a příloh:

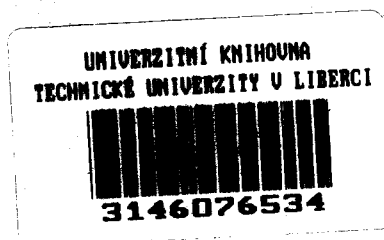
Počet stran: 54

Počet tabulek: -

Počet obrázků: 45

Počet výkresů: 3

Počet jiných příloh: 3



Místopřísežné prohlášení.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

B. G. Jilka

O B S A H :

1.	Úvod - význam kontejnerové dopravy	1
2.	Manipulační prostředky	1
3.	Použití vysokozdvizných vozíků	2
4.	Zdvihací zařízení	4
4.1.	Vysokozdvizný vozík SV 150	4
4.2.	Popis zdvihacího zařízení	4
5.	Výpočty	6
5.1	Silové zatížení spreadru	6
5.1.1.	Síly od zátěže Q	6
5.1.2.	Vliv větru	8
5.1.3.	Brzdná síla	9
5.1.4.	Náklon	10
5.2.	Pevnostní kontrola spreadru	13
5.2.1.	Kontrola nosníků	13
5.2.2.	Kontrola svarů	16
5.2.3.	Výpočet hmotnosti spreadru	21
5.3.	Pevnostní kontrola závěsného rámu	21
5.3.1.	Kontrola nosníků	21
5.3.2.	Kontrola svarů	28
5.3.3.	Výpočet hmotnosti rámu	30
5.4.	Pevnostní kontrola rámu s kladkami	31
5.4.1.	Kontrola nosníků	31
5.4.2.	Kontrola svarů	38
5.4.3.	Výpočet hmotnosti rámu	39
5.5.	Pevnostní kontrola rámu zdvihu	40
5.5.1.	Kontrola pojezdu	40
5.5.2.	Kontrola stojiny	44
5.5.3.	Kontrola svarů	46
5.6.	Kontrola hydromotorů pro pojezdy	47
5.7.	Statická neurčitost	48
6.	Závěr	54

Seznam použitého označení

a, b, c,	délky viz. text	m
a	zrychlení	$m \cdot s^{-2}$
g	tíhové zrychlení	$m \cdot s^{-2}$
k	bezpečnost	-
l	délka viz text	m
m	hmotnost všeob.	kg
m_k	hmotnost kontejneru	kg
p	tlak hydr. kap.	Pa
y	výchylka	m
A, B, C, D, E	ozn. bodů, míst	-
F	plocha	m^2
F'	dílní síla	N
F_{HM}	síla v hydromotoru	N
$F_1, F_2 \dots$	síly viz text	N
F_v	síla větru	N
F_c	celková síla	N
F_B	brzdná síla	N
F_s	setrvačná síla	N
F_M	síla od momentu	N
F_{kr}	kritická síla	N
F_α	síla od sklonu	N
F_L	síla na levou stranu	N
F_P	síla na pravou stranu	N
G	tíha	N
J	moment průřezu	m^4
J_p	polární moment průřezu	m^4
K	tuhost	$N \cdot m^{-1}$
M_o	ohybový moment	Nm
M_k	kroučící moment	Nm
M_c	celkový moment	Nm
M_{oyB}	ohybový moment v místě B k ose y	Nm
N	osová síla	N
R	reakce, síla	N
Q	tíha	N
S	plocha	m^2
T	ozn. těžiště	-
U	ozn. profilu	-
W_o	modul v ohybu	m^3

W_k	modul v krutu	m^3
α	sklon	DEG
β, β'	úhel mezi příčnický	DEG
π	Ludolfovo č.	-
σ_0	napětí ohybové	Pa
σ_n	osové	Pa
σ_{ekv}	ekvivalentní	Pa
τ	tečné	Pa
τ_1	u svaru - kolmé	Pa
τ_{II}	- rovnoběžné	Pa
τ_c	- celkové	Pa
τ_T	od síly T	Pa
τ_k	od krout. momentu	Pa
γ	nakroucení	DEG

1. Úvod - význam kontejnerové dopravy

Kontejnerová doprava je velice výhodný způsob transportu zboží na velké vzdálenosti. Zvláště v případech, kdy je nutné toto zboží několikrát překládat /např. z loď na železniční vagóny a dále pak na nákladní automobil/. Vzhledem k překládce je snaha, aby bylo zboží přepravováno v co možná největších manipulačních jednotkách a v takovéto podobě se dostalo co možná nejblíže konečného cíle. Urychlí se tím manipulace a v případě kontejneru je zboží uzavřeno a chráněno před povětrnostními vlivy, popř. i před poškozením. Jak náročný je proces překládky je možno ukázat na příkladu dopravy po železnici mezi státy s různými rozchody kolejnic - je ekonomičtějši provádět výměnu náprav pro příslušný rozchod tratě, než realizovat překládku.

Použití kontejneru ve srovnání s klasickou dopravou přináší:

- zrychlení dodávek zboží o 25 - 30 %
- zvýšení produktivity práce při překládce až 5krát
- zvýšení propustnosti nákladních ramp 2krát
- snížení prostojů vozového parku na železnicích 8 až 10krát, v automobilové dopravě 5 až 6krát, v námořní a říční dopravě 3 až 4krát.

2. Manipulační prostředky

Pro překládku kontejnerů jsou nezbytné manipulační prostředky, ty lze v zásadě rozdělit na několik základních skupin:

1. boční překladače
2. portálové a obkročné jeřáby
3. vysoko zdvižné vozíky
4. speciální zařízení a železniční vozy
5. pomocná zařízení

Pro etapu budování kontejnerového systému jsou nejdůležitější boční překladače. U nás jsou v provozu hlavně výrobky z bývalé NDR IFA Werdan s označením HLS 200.78/TK. Manipulační schopnost je dána systémem zem - návěs. Další typy bočních překladačů vyrábí např. KLAUS /SRN/, BESIMA /ŠVÉDSKO/, GLARK /ANGLIE/ a další.

Portálové a obkročné jeřáby jsou spíše určeny pro terminály. Sem patří např. samohybný portálový jeřáb typové řady PD z ČKD Praha.

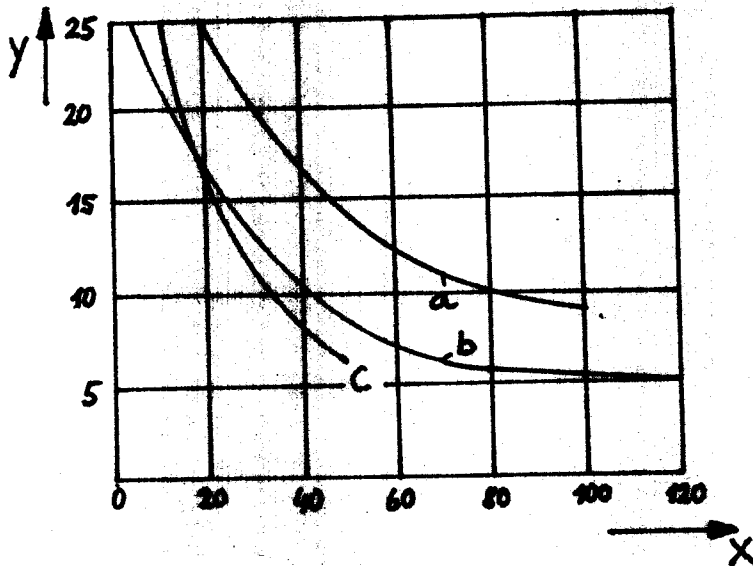
Vysokozdvížné vozíky se používají boční nebo čelní, dále rozlišujeme podle uchycení břemene: vidlicové /kontejner leží na vidlicích/ nebo s t. zv. SPREADREM - uchycení kontejneru zvrchu pomocí oválných ok. Tyto vozíky vyrábí zahraniční firmy: KAIMAR, LANCER BOSS, LANSING HENLEY a další. U nás jsou k dispozici vysokozdvížné vozíky vyráběné podniky: DESTA Děčín, ZTS Dubnica, TRANSPORTA Chrudim. Pro kontejnery 1C a 1CC /nejpoužívanější typy kontejnerů/ je vhodný čelní vysokozdvížný vozík z TRANSPORTY Chrudim SV 150.

Z ostatních zařízení uvedu jen několik příkladů:

- elektromechanické stojany - souprava sestává ze 4 samostatných zdvižných stojanů s fixačními prvky pro upevnění v bočních rohových prvcích kontejneru. Používají se pro systém návěs - zem.
- vlečný podvozek - je dvoudílný, podvozky jsou vybaveny zařízením pro uchycení do rohových prvků na čelních stranách kontejneru a hydraulickým čerpadlem pro nízký zdvih kontejneru k umožnění pojezdu. Používá se pro vnitrozávodovou dopravu.
- dále je možno uvést návěs se zvedacím zařízením /např. TAKRAF/

3. Použití vysokozdvížných vozíků

Praxe ukazuje, že podle počtu přeložených kontejnerů je třeba stanovit počet a druh překládacího zařízení s odpovídajícími technicko - provozními charakteristikami. Následující graf představuje hledisko tvorby jednotkových nákladů na překládku 1 kontejneru v závislosti na počtu manipulací, které zařízení realizuje během jednoho pracovního dne.



obr. 1.

osa X ... počet překládek za 24 hod

osa Y ... poměrné náklady na přepravu kontejneru při překládce.

- Křivky značí: a. samohybný portálový překladač
b. kontejnerový překladač jeřábový
c. vysoko zdvižný vozík

Z grafu vyplývá, že použití vysoko zdvižného vozíku je nejekonomičtější při překládce 20 až 50 cyklů během pracovního dne. Z praxe je pak známo, že spolu s portálovými překladači se vysoko zdvižné vozíky nejrychleji amortizují. Nasazení těchto vozíků je tedy opodstatněné ve středních a větších závodech, které se rozhodly přepravu řešit kontejnerizací a jsou schopny vozík využít.

Dalším použitím vysoko zdvižných vozíků je jejich nasazení v překladištích a terminálech jako doplňkového zařízení, případně pro rozšíření kapacity.

4. Zdvihací zařízení

4.1. Vysokozdvihný vozík SV 150

Můj konstrukční návrh zdvihacího zařízení je určen pro vysokozdvihný vozík SV150 z TRANSPORTY Chrudim.

Základní údaje vozíku:

Klasický vysokozdvihný vozík - pohon předních kol, která jsou opatřena dvojmontáží disků, zadní náprava řiditelná.

Motor: ZTS Martin - ZETOR 8602.12 - 4-dobý šestiválec
6842 cm³

Výkon: 114,5 kW při 2200 min⁻¹

Převod: hydrostatický

Rychlostní stupně: 2 vpřed, 2 vzad

Délka vozíku: 7200 mm

Šířka vozíku: 2500 mm

Nosnost: 15000 kg

Zdvih: 5,5 m

Rychlost pojezdu: max. 32 km.h⁻¹

Rychlost zdvihu: 0,29 m.s⁻¹

Stručný nákres vozíku a kontejneru v přepravní poloze se nachází v příloze č.1.

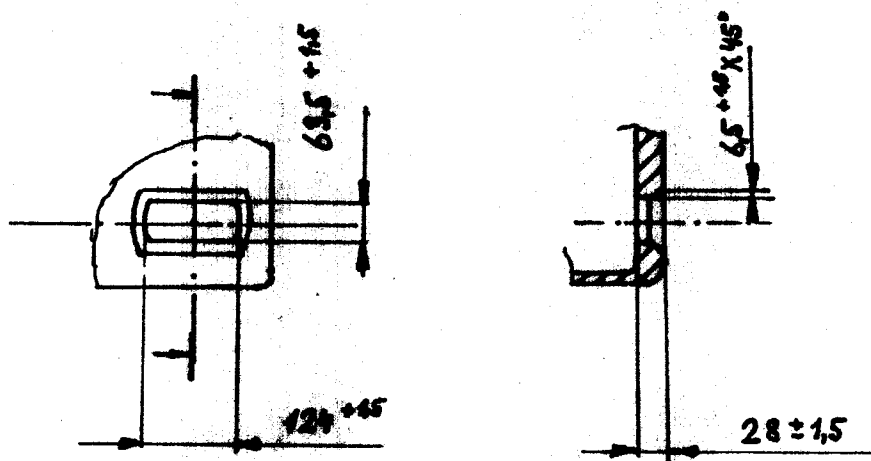
4.2. Popis zdvihacího zařízení

Celé zdvihací zařízení se spreadrem /pro uchycení kontejneru zvrchu za závěsné prvky v rozích horní stěny/ se skládá ze čtyř hlavních částí:

- spreader
- závěsný rám /s vedením pro posuv do stran/
- rám s kladkami pro posuvy ve vodorovném směru
- rám pro uchycení zařízení k vozíku s kladkami pro zdvih

Pro pohyb kontejneru ve svislém směru je využito zdvihacího zařízení se zdvihem 5,5 m, pomocí něhož je splněn požadavek stohování kontejnerů do 3 vrstev /je nutné mít k dispozici zdvih minimálně 2krát výška kontejneru, což je u typu 1CC 2.2541=5082 mm a u typu 1C 2.2438=4876 mm/.

Posuv do stran volím 200 mm vlevo i vpravo od střední polohy - tento posuv je velice důležitý k přesnému polohování spreadru na kontejner. Posuv je zajištěn lineárním hydro- motorem. Posuv vpřed-vzad je méně důležitý, uplatní se kromě nakládky také při vykládce na vagóny, kdy vozík přijede až těsně k vagónu a je třeba kontejner přesně polohovat. Spreader je vybaven otočnými zámky pro uchycení kontejneru v rohových prvcích, viz obr. 2.



obr. 2.

Každá dvojice zámků je ovládána jedním hydromotorem. Otevření nebo zavření zámků je zřetelné podle polohy "praporek" nad dvěma rohy spreadru, jsou-li "praporečky" v jedné rovině, zámek je uzavřen, jsou-li pootočeny o 90 stupňů, zámek je otevřen. K dosažení správného polohování spreadru na kontejner napomáhají vodící součásti umístěné pouze na jedné straně, aby bylo možno na skladovací ploše stavět kontejnery těsně k sobě. Dále správné polohování usnadňuje skutečnost, že spreader je uchycen k dalšímu rámu pomocí lan /řetězů/. Na nerovném terénu při spuštění spreadru na kontejner se lana uvolní a lze uchytit i kontejner, který nebyl původně v rovnoběžné rovině s rovinou spreadru. V každém rohu spreadru je umístěn koncový spínač, který sepne při správném polohování a signalizuje řidiči, že může uzavřít zámky.

5. Výpočty

5.1. Silové zatížení spreadru

5.1.1. Síly od hmotnosti zátěže

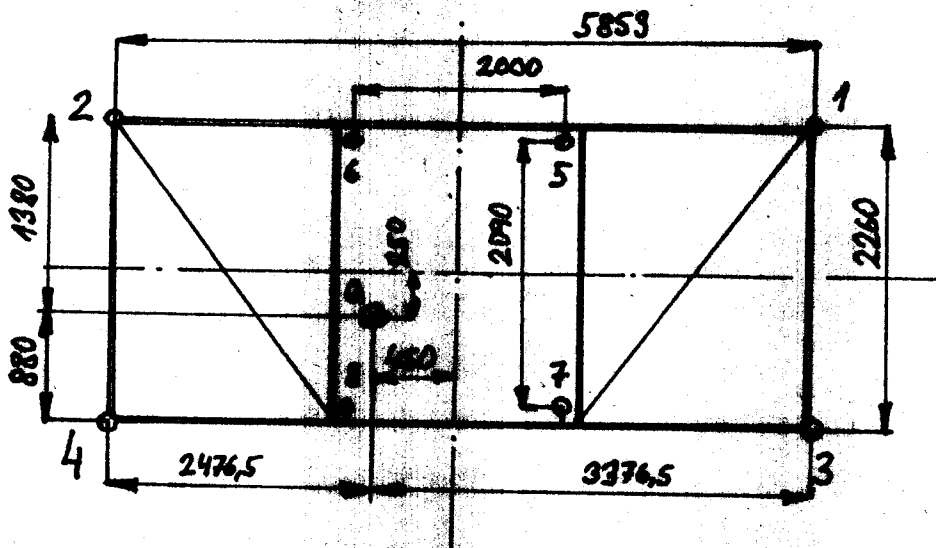
m..celková hmotnost kontejneru $m=8000\text{kg}$

Uvažuje se 20% přetížení a vliv dynamiky provozu - koeficient 1,2 :

$$m_1 / 8000 + 0,2 \cdot 8000 / 1,2 = 11520 \text{ kg}$$

$$Q = m_1 \cdot g = 11520 \cdot 9,81 = 113011 \text{ N}$$

Vlivem vystředění nákladu se síla Q rozdělí nerovnoměrně na úchyty.



obr. 3.

Úchyty pro kontejner:

F' ... výslednice sil pro úchyty 3 a 4

$$F' = Q \frac{1380}{2260} = 69007 \text{ N}$$

F'' ... podobně pro 1 a 2

$$F'' = Q \frac{880}{2260} = 44004 \text{ N}$$

$$F_3 = F' \cdot \frac{24765}{5853} = 29\ 198\ \text{N}$$

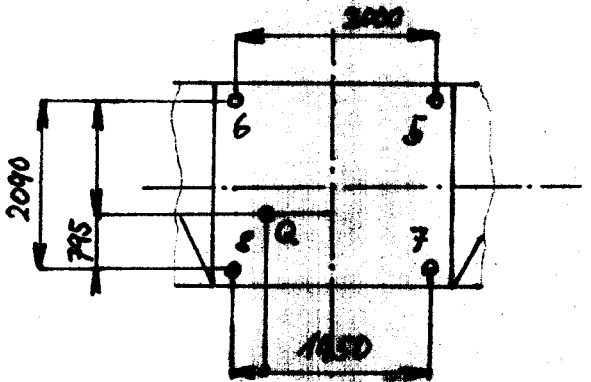
$$F_4 = F' \cdot \frac{39765}{5853} = 39\ 809\ \text{N}$$

$$F_1 = F'' \cdot \frac{24765}{6853} = 18\ 619\ \text{N}$$

$$F_2 = F'' \cdot \frac{39765}{6853} = 25\ 386\ \text{N}$$

Rozměry viz obr. 3.

Úchyty pro lana:



obr. 4.

$$F''' = Q \cdot \frac{1450}{2090} = 81933\ \text{N} ; F''' = Q \cdot \frac{2000 - 1450}{2090} = 31078\ \text{N}$$

$$F_6 = F''' \cdot \frac{795}{2090} = 31\ 166\ \text{N}$$

$$F_8 = F''' \cdot \frac{795}{2090} = 11\ 821\ \text{N}$$

$$F_9 = F''' - F_6 = 50\ 767\ \text{N}$$

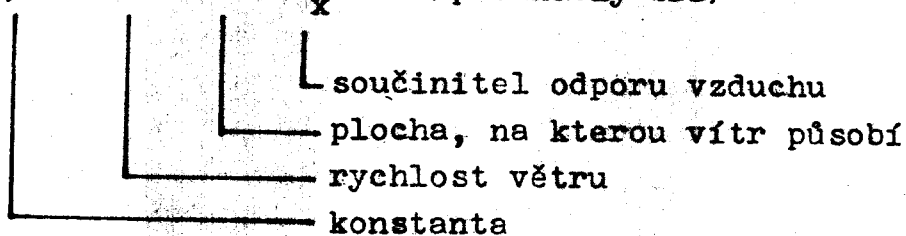
$$F_7 = F''' - F_8 = 19\ 256\ \text{N}$$

Hodnoty vystředění nákladu jsou z podkladů TRANSPORTY.

5.1.2. Vliv větru

Maximální přípustná rychlost větru ... 12 m.s⁻¹
/ převzato z dokumentů TRANSPORTY/

$$F_v = 0,63 \cdot v^2 \cdot S \cdot c_x \quad \text{/přednášky SPD/}$$



Pro hodnoty : $v = 12 \text{ m.s}^{-1}$

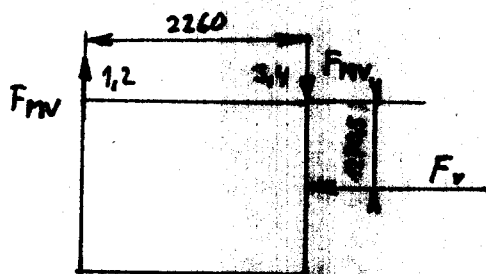
$$S = 6,058 \cdot 2541 = 15,393 \text{ m}^2$$

$$c_x = 0,7 \quad \text{/přednášky SPD/}$$

je $F_v = 977,54 \text{ N}$

Každý úchyt zachytí 1/4 vodorovné síly F_v , což je
 $1/4 \cdot 977,54 = 244,385 \text{ N} = F_{v1}$

Síla F_v vytváří na rameni 1,2705 m moment, který zachytí úchyty. Viz obr. 5.

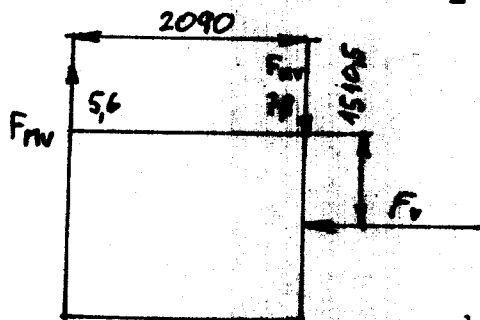


obr. 5.

$$F_{mv} = F_v \cdot \frac{1270,5}{2260} = 549 \text{ N} \quad \text{tato síla se rozloží do}$$

úchytů 1 a 2, též do úchytů 3 a 4 rovnoměrně, t.j. polovina: $F_{mv}; 1/2 \cdot 549 = 275 \text{ N}$ Úchyty 3 a 4 bude zatěžovat 1 a 2 odlehčovat:

Podobně pro úchyty na řetězy /rozměry viz obr. 6./



obr.6.

Pro tyto rozměry vyjde $F_{mv} = 706,5 \text{ N}$

$$F_{mv2} = 1/2 \cdot F_{mv} = 353 \text{ N}$$

5.1.3. Brzdná síla

$F_b = 64884 \text{ N}$ /podklady TRANSPORTY o voz. SV 150/

$m_c = 25400 \text{ kg}$ celková hmotnost vozíku s nákladem /odhad/

Brzdné zpoždění:

$$a = \frac{F_b}{m_c} = \frac{64884}{25400} = 2,55 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Setrvačná síla na kontejner:

$$F_s = m_k \cdot a = (8000 + 0,2 \cdot 8000) \cdot 2,55 = 24480 \text{ N}$$

Předpokládám, že působíště síly F_s je v 1/3 výšky kont.

Ostatní rozměry viz obr. 3. a 4.

Vodorovný směr:

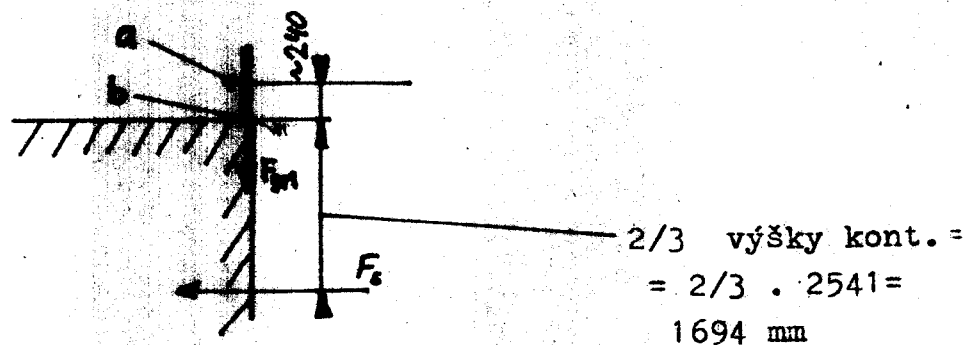
$$F_{s_{6,8}} = F_s \cdot \frac{1450}{2000} = 17748 \text{ N}$$

$$F_{s_{5,7}} = F_s \cdot \frac{2000 - 1450}{2000} = 6732 \text{ N}$$

$$F_{s_{24}} = F_s \cdot \frac{3386,5}{5853} = 14122 \text{ N}$$

$$F_{s_{1,3}} = F_s - F_{s_{24}} = 10358 \text{ N}$$

Svislý směr: rameno síly F_s pro úchyty 1,2,3,4 je 1,694 m
5,6,7,8 je 1,934 m
viz obr. 7.



- a. - úchyt na řetězy
- b. - úchyt pro kontejner

obr. 7.

$$F_{sm\ 2,4} = F_{s\ 2,4} \cdot \frac{1694}{2260} = 10\ 585\ N$$

$$F_{sm\ 1,3} = F_{s\ 1,3} \cdot \frac{1694}{2260} = 7764\ N$$

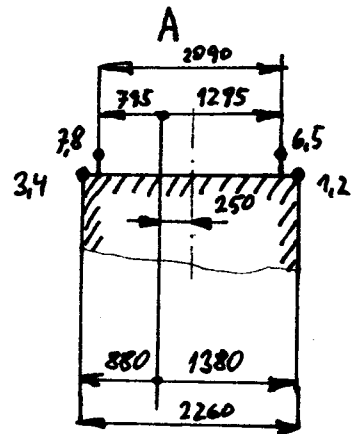
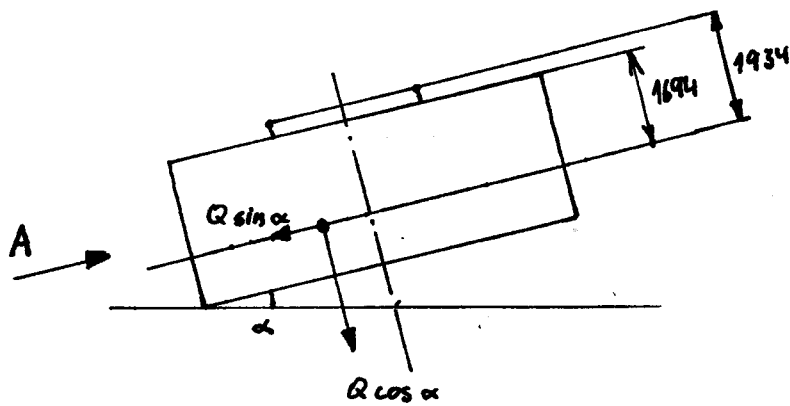
$$F_{sm\ 5,7} = F_{s\ 5,7} \cdot \frac{1934}{2090} = 6229\ N$$

$$F_{sm\ 6,8} = F_{s\ 6,8} \cdot \frac{1934}{2090} = 16\ 423\ N$$

5.1.4. Náklon

Počítám s náklonem 5% / dokumentace TRANSPORTA /

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,05 \quad \alpha = 2,862^\circ$$



obr. 8.

$$F_{\alpha 1,2} = Q \sin \alpha \cdot \frac{880}{2260} = 2198 \text{ N}$$

$$F_{\alpha 3,4} = Q \sin \alpha \cdot \frac{1380}{2260} = 3446 \text{ N}$$

$$F_{n\alpha 1,2} = F_{\alpha 1,2} \cdot \frac{1694}{5853} = 636 \text{ N}$$

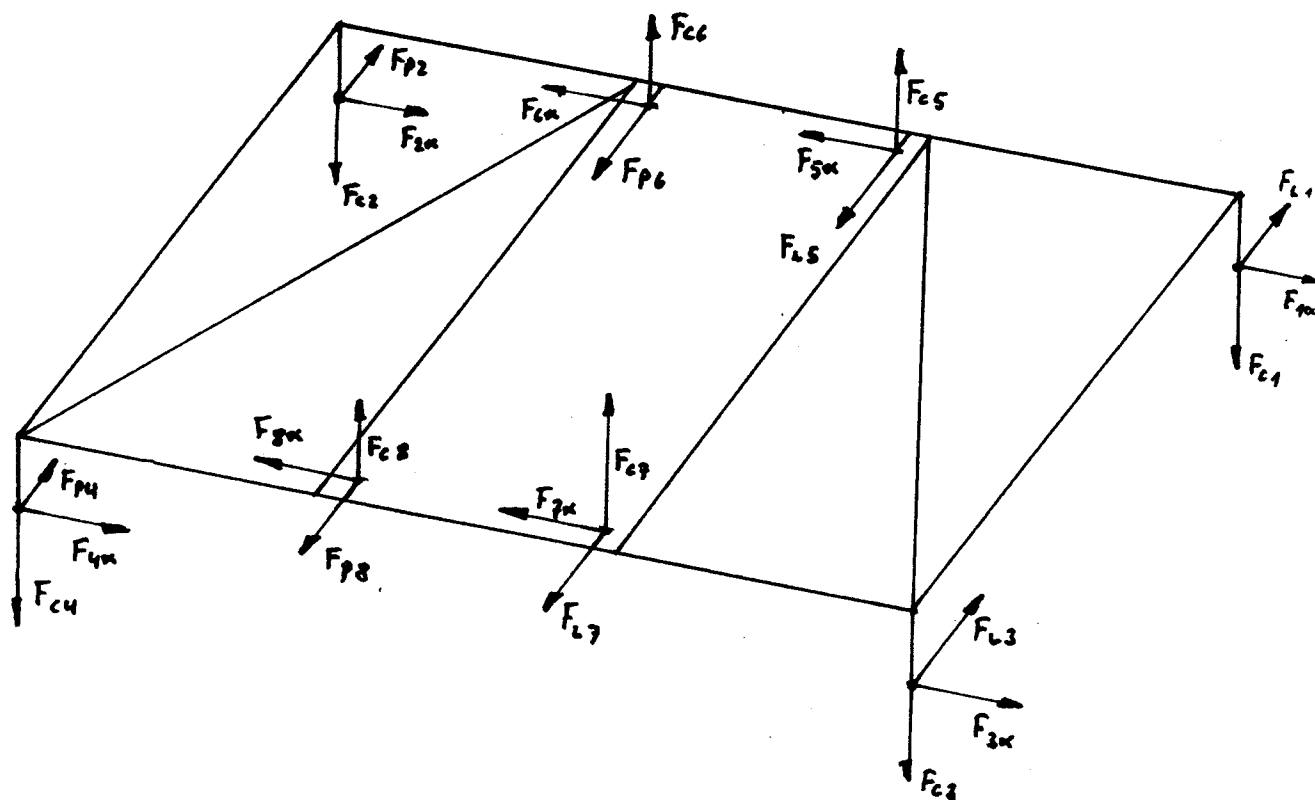
$$F_{n\alpha 3,4} = F_{\alpha 3,4} \cdot \frac{1694}{5853} = 997 \text{ N}$$

$$F_{\alpha 7,8} = Q \cdot \sin \alpha \cdot \frac{1295}{2090} = 3497 \text{ N}$$

$$F_{\alpha 6,5} = Q \cdot \sin \alpha \cdot \frac{795}{2090} = 2147 \text{ N}$$

$$F_{n\alpha 7,8} = F_{\alpha 7,8} \cdot \frac{1934}{2000} = 3382 \text{ N}$$

$$F_{n\alpha 6,5} = F_{\alpha 6,5} \cdot \frac{1934}{2000} = 2076 \text{ N}$$



obr. 9.

Síly působící na spreader:

$$F_{c1} = F_1 - F_{nv1} - F_{sm1,3} - F_{m\alpha 1,2} = 9944 \text{ N}$$

$$F_{c2} = F_2 - F_{nv1} - F_{sm2,4} + F_{m\alpha 1,2} = 15162 \text{ N}$$

$$F_{c3} = F_3 + F_{nv1} + F_{sm1,3} - F_{m\alpha 3,4} = 36240 \text{ N}$$

$$F_{c4} = F_4 + F_{nv1} + F_{sm2,4} + F_{m\alpha 3,4} = 59666 \text{ N}$$

$$F_{c5} = F_5 - F_{nv2} - F_{sm5,7} - F_{m\alpha 5,6} = 3163 \text{ N}$$

$$F_{c6} = F_6 - F_{nv2} - F_{sm5,6} + F_{m\alpha 5,6} = 16466 \text{ N}$$

$$F_{c7} = F_7 + F_{nv2} + F_{sm5,7} - F_{m\alpha 7,8} = 22456 \text{ N}$$

$$F_{c8} = F_8 + F_{nv2} + F_{sm6,8} + F_{m\alpha 7,8} = 70925 \text{ N}$$

$$F_{1x} = F_{2x} = \frac{1}{2} F_{x 1,2} = 1099 \text{ N}$$

$$F_{3x} = F_{4x} = \frac{1}{2} \cdot F_{x 3,4} = 1723 \text{ N}$$

$$F_{5x} = F_{6x} = \frac{1}{2} F_{x 5,6} = 1073,5 \text{ N}$$

$$F_{7x} = F_{8x} = \frac{1}{2} F_{x 7,8} = 1749 \text{ N}$$

$$F_{L1} = F_{L3} = F_{v1} + \frac{1}{2} F_{s 1,3} = 5423 \text{ N}$$

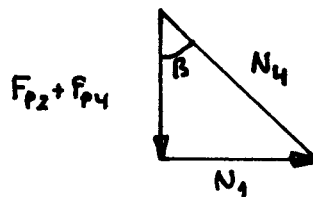
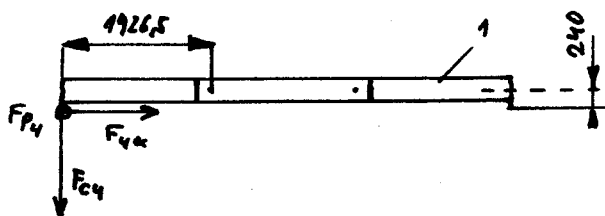
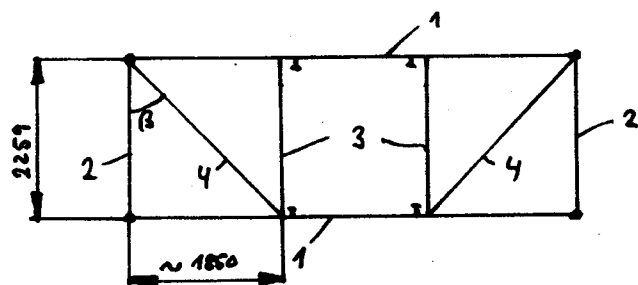
$$F_{p2} = F_{p4} = F_{v1} + \frac{1}{2} F_{s 2,4} = 7305 \text{ N}$$

$$F_{L5} = F_{L7} = F_{v1} + \frac{1}{2} F_{s 5,7} = 3610 \text{ N}$$

$$F_{p6} = F_{p8} = F_{v1} + \frac{1}{2} F_{s 6,8} = 9118 \text{ N}$$

5.2. Pevnostní kontrola spreadru

5.2.1. Kontrola nosníků



$$\operatorname{tg} \beta = \frac{1850}{2259} = 0,8189$$

obr. 10.

Zatížení nosníku 1 je patrné z obr.10.

$$M_{o \max} = F_{cy} \cdot 1,9265 + F_{yk} \cdot 0,24 = 99948 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$N = F_{yk} + (F_{p2} + F_{p4}) \tan \beta = 13553 \text{ N}$$

$$T = \sqrt{F_{cy}^2 + 0^2} = 51666 \text{ N}$$

Pro profil U 300 : $W_o = 535 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$, $S = 58,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$$\sigma_o = \frac{M_{o \max}}{W_o} = \frac{99948}{535 \cdot 10^{-6}} = 186 \text{ MPa}$$

$$\sigma_N = \frac{N}{S} = \frac{13553}{58,8 \cdot 10^{-4}} = 2,3 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{T}{S} = \frac{51666}{58,8 \cdot 10^{-4}} = 8,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_e = \sqrt{(186 + 2,3)^2 + 3 \cdot 8,9^2} = 188 \text{ MPa}$$

Pro materiál 11373, který má podle normy ČSN 73 1401 výpočtovou pevnost 210 MPa, je výpočet vyhovující.

Kontrola součásti 4 na vzpěr:

Pomocí obr. 10. vypočítáme N_4 :

$$N_4 = \frac{F_{p2} + F_{p4}}{\cos \beta} = \frac{14610}{\cos 39^\circ} = 18800 \text{ N}$$

Souč. 4 : L 80 X 10 $J_{\min} = 36,82 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$

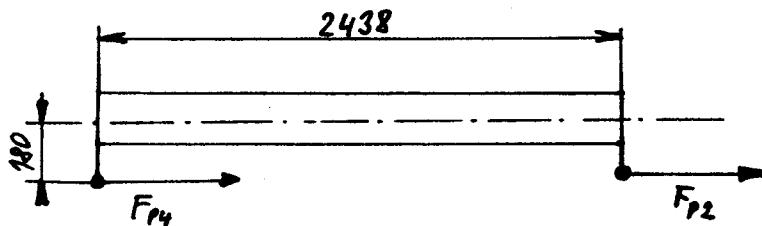
$$\text{délka } l = \sqrt{1,85^2 + 2,259^2} = 2,92 \text{ m}$$

/rozměry viz obr: 10.

$$F_{kr} = \frac{4\pi^2 \cdot E \cdot J_{min}}{L^2} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 36,82 \cdot 10^{-8}}{2,92^2} =$$

$$3,58 \cdot 10^5 \text{ N} > N_y = 0,188 \cdot 10^5 \text{ N}$$

Kontrola součásti 2:



obr. 11.

$$M_{o \max} = F_{p1} \cdot 0,18 = 7305 \cdot 0,18 = 1315 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$N = F_{p1} = 7305 \text{ N}$$

$$T = \frac{(F_{p1} + F_{p2}) \cdot 0,18}{2,438} = 1078,6 \text{ N}$$

Síly F_{p1} a F_{p2} zatěžují především nosník 1, pro nosník 2 je neuvvažujeme.

$$\sigma_o = \frac{M_{o \max}}{W_o} = \frac{1315}{191 \cdot 10^{-6}} = 6,88 \text{ MPa}$$

$$\sigma_N = \frac{N}{S} = \frac{7305}{32,2 \cdot 10^{-4}} = 2,26 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{T}{S} = \frac{1078,6}{32,2 \cdot 10^{-4}} = 0,335 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ekv.} = \sqrt{(6,88 + 2,26)^2 + 3 \cdot 0,335^2} = 9,15 \text{ MPa}$$

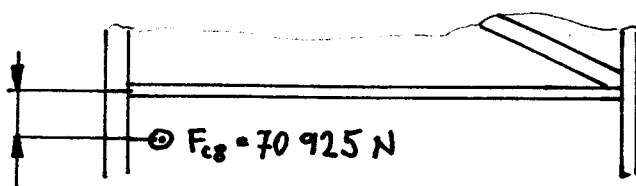
Výpočet byl proveden pro profil U 200

$$W_o = 191 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$S = 32,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

/ Díky deformaci nosníku 1 bude přenášet větší část síly F_{p4} nosník 3. /

Součást 3 :



obr. 12.

$$\sigma_n = \frac{F_{p4}}{S} = \frac{7305}{32,2 \cdot 10^{-4}} = 2,26 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o = \frac{F_{C8} \cdot 0,03}{W_o} = \frac{70925 \cdot 0,03}{191 \cdot 10^{-6}} = 11 \text{ MPa}$$

Ve skutečnosti se ohybový moment od sil F_{C8} a F_{C7} rozloží do dvou nosníků "2" a dvou nosníků "3". Protože je působiště síly F_{C8} v bezprostřední blízkosti nosníku "3" uvažujeme, že tento nosník bude přenášet celý moment síly F_{C8} .

Pro materiál 11373 a jeho výpočtovou pevnost 210 MPa výpočty nosníků 2 i 3 vyhovují.

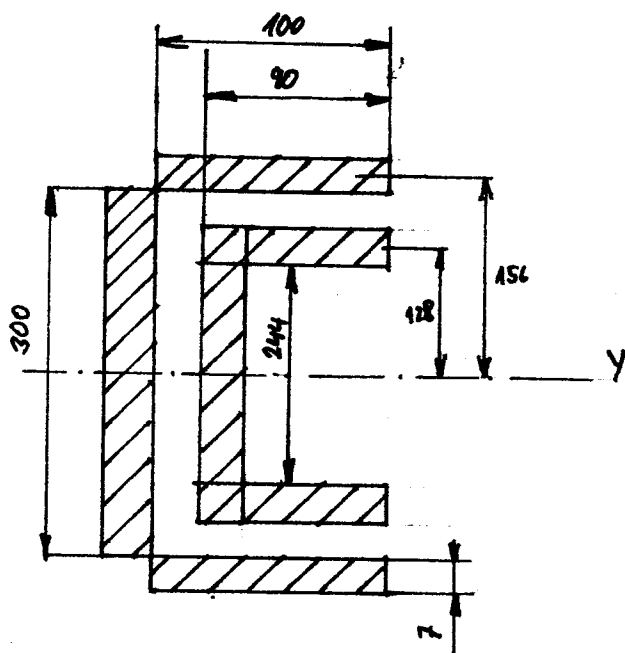
5.2.2. Kontrola svarů

Spoj nosníku 1 s rohovým prvkem:
Zatěžující síly lze vyčíst z obr: 9.

$$N = F_{4\alpha} = 1723 \text{ N}$$

$$T = F_{6\alpha} = 52464 \text{ N}$$

$$M_0 = F_{4\alpha} \cdot 0,24 = 1723 \cdot 0,24 = 413,52 \text{ N}\cdot\text{m}$$



Zjednodušené schema pro výpočet ohybového modulu

W_{oy}

obr. 13.

$$\begin{aligned} W_{oy} &= \frac{2 \cdot J_y}{0,3} = \frac{2}{0,3} \cdot \left[\frac{1}{12} 0,007 \cdot 0,3^3 + \frac{1}{12} 0,007 \cdot 0,244^3 + \frac{2}{12} \cdot 0,1 \cdot 0,007^3 + \right. \\ &\quad \left. + 2 \cdot 0,007 \cdot 0,1 \cdot 0,156^2 + \frac{2}{12} \cdot 0,09 \cdot 0,007^3 + 2 \cdot 0,09 \cdot 0,007 \cdot 0,128^2 \right] = \\ &= 5,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= 0,3 \cdot 0,007 + 2 \cdot 0,244 \cdot 0,007 + 2 \cdot 0,1 \cdot 0,007 + 2 \cdot 0,09 \cdot 0,007 = \\ &= 6,468 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\tau_{II} = \frac{T}{S} = \frac{52464}{6,468 \cdot 10^{-3}} = 8,1 \text{ MPa}$$

$$\tau_{+N} = \frac{N}{S} = \frac{1723}{6,468 \cdot 10^{-3}} = 0,26 \text{ MPa}$$

$$\tau_{+M} = \frac{M_0}{W_{oy}} = \frac{413,52}{5,02 \cdot 10^{-4}} = 0,8237 \text{ MPa}$$

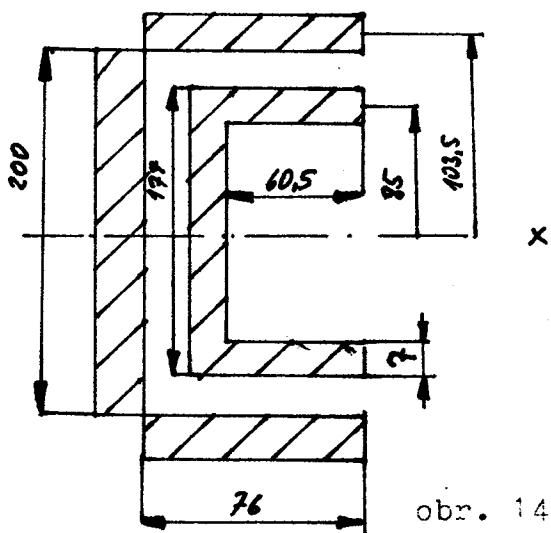
$$\tau_s = \sqrt{\left(\frac{\hat{\tau}_1}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{\hat{\tau}_2}{0,65}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,26 + 0,8237}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{8,1}{0,65}\right)^2} =$$

$$= 12,54 \text{ MPa}$$

Vzorec převzat ze skript " Části a mechanismy strojů cvičení " , koeficienty 0,75 a 0,65 platí pro koutové sva-
ry.

Pro 2 svařené materiály z oceli 11373 je pevnost svarů dostatečná / elektroda pro tento materiál -např E44.72 ,
nebo drát P 44.13 C

Kontrola přivaření součásti 2 k rohovému prvku:



$$J_x = \frac{1}{12} \cdot 0,007 \cdot 0,2^3 + \frac{1}{12} \cdot 0,007 \cdot 0,177^3 +$$

$$\frac{2}{12} \cdot 0,076 \cdot 0,007^3 + 2 \cdot 0,076 \cdot 0,007 \cdot$$

$$\cdot 0,1035^2 + \frac{2}{12} \cdot 0,0605 \cdot 0,007^3 + 2 \cdot$$

$$\cdot 0,0605 \cdot 0,007 \cdot 0,085^2 = 2,542 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_x = \frac{2 J_x}{0,2} = 2,542 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$S = 0,2 \cdot 0,007 + 0,177 \cdot 0,007 + (2 \cdot 0,076 + 2 \cdot 0,0605) \cdot 0,007 = 4,55 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Zatížení svaru

$$M_0 = F_{py} \cdot 0,24 = 7305 \cdot 0,18 = 1316,7 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$N = 7305 \text{ N}$$

$$T = 1078,6 \text{ N}$$

Hodnoty zatížení viz kontrola souč. 2 , str. 15

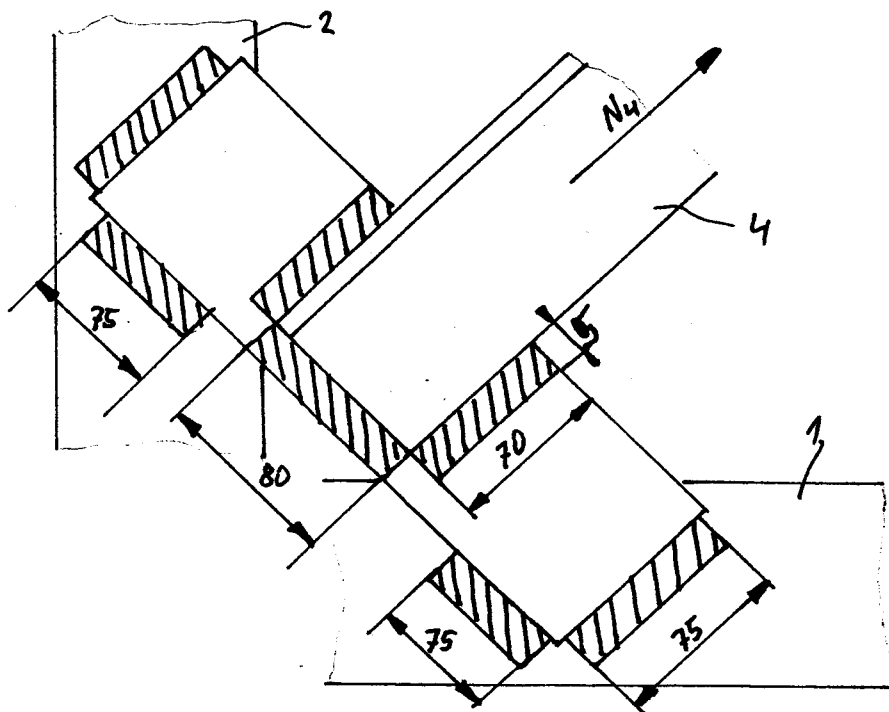
$$\bar{\tau}_{LM} = \frac{M_0}{W_k} = \frac{1316,7}{2,542 \cdot 10^{-4}} = 5,17 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau}_{LN} = \frac{N}{S} = \frac{7305}{4,55 \cdot 10^{-3}} = 1,605 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau}_1 = \frac{T}{S} = \frac{1078,6}{4,55 \cdot 10^{-3}} = 0,237 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau}_s = \sqrt{\left(\frac{5,17 + 1,605}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{0,237}{0,65}\right)^2} = 9,04 \text{ MPa}$$

Kontrola uchycení části 4 :



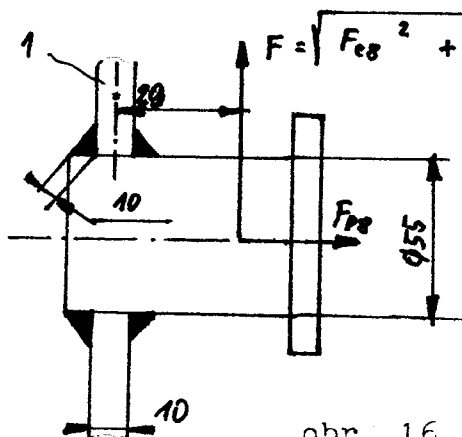
obr. 15.

$$S_1 = 4 \cdot 0,075 \cdot 0,005 = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \quad \text{/plech na rám/}$$

$$S_2 = 2 \cdot 0,07 \cdot 0,005 + 0,08 \cdot 0,005 = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \quad \text{/L 80 X 10 na plech/}$$

$$\bar{\tau} = \frac{N_4}{S_2} = \frac{12800}{1,1 \cdot 10^{-3}} = 17 \text{ MPa}$$

Čep pro uchycení lana:



$$F = \sqrt{F_{\text{cg}}^2 + F_{\text{gax}}^2} = \sqrt{70925^2 + 1748,5^2} = 70946 \text{ N}$$

$$F_{\text{pe}} = 9118 \text{ N}$$

$$S = \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi}{4} [0,075^2 - 0,055^2] = 2,827 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

obr. 16 .

$$W_0 = 2 \cdot \left(\frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} \right) = 2 \cdot \left(\frac{\pi}{32} \cdot \frac{0,075^4 - 0,055^4}{0,075} \right) = 5,88 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\tilde{\tau}_{\text{IM}} = \frac{M_0}{W_0} = \frac{70946 \cdot 0,029}{5,88 \cdot 10^{-5}} = 35,1 \text{ MPa}$$

$$\tilde{\tau}_{\text{IN}} = \frac{N}{S} = \frac{9118}{2,827 \cdot 10^{-3}} = 4,4 \text{ MPa}$$

$$\tilde{\tau}_c = \tilde{\tau}_{\text{IM}} + \tilde{\tau}_{\text{IN}} = 40,5 \text{ MPa}$$

Kontrola čepu na ohyb:

$$\hat{\sigma}_0 = \frac{F \cdot 0,03 \cdot 32}{\pi \cdot 0,055^3} = \frac{70946 \cdot 0,03 \cdot 32}{\pi \cdot 0,055^3} = 129 \text{ MPa}$$

Volba lana: lano 22,4 ,pevnost drátů 1570 MPa,
jmenovitá nosnost lana $F_j = 3209 \text{ kN}$

zatížení $F = 70946 \text{ N}$

$$K = \frac{F_j}{F} = \frac{320,9}{70,946} = 4,5$$

5.2.3. Výpočet hmotnosti spreadru

m = celková délka . jednotková hmotnost

$$1...U 300 : m_1 = 2 \cdot 6,058 \cdot 46,2 = 560 \text{ kg}$$

$$2...U 200 : m_2 = 4 \cdot 2,438 \cdot 25,3 = 246,8 \text{ kg}$$

$$3...L 80X10 : m_3 = 2 \cdot 2,92 \cdot 11,86 = 69,26 \text{ kg}$$

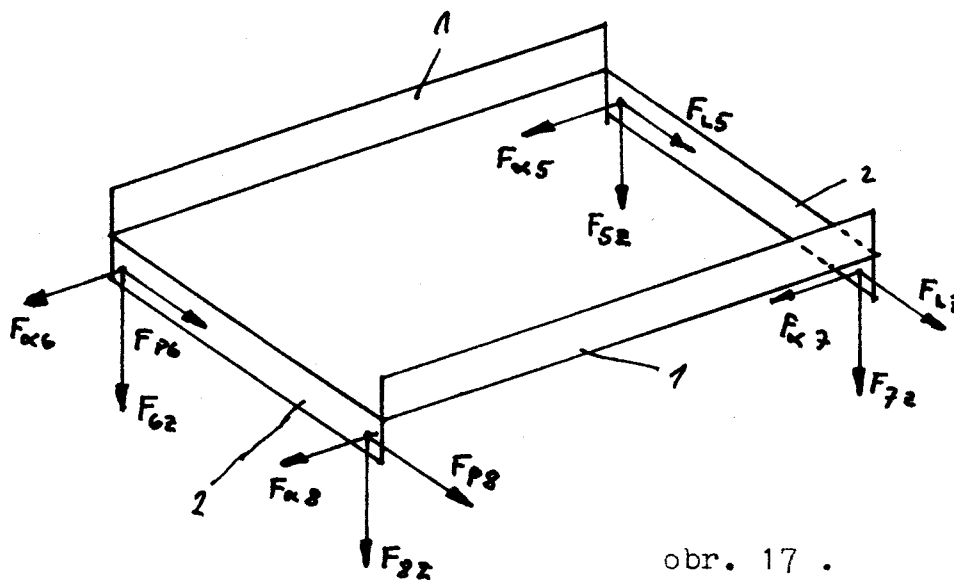
$$\text{Celková hmotnost} : 560 + 246,8 + 69,26 = 876 \text{ kg}$$

$$\text{Tíha} : G_1 = m \cdot g = 876 \cdot 9,81 = 8595 \text{ N}$$

Jelikož je součást souměrná, lze celkovou tíhu rozložit do úchytnů pro lana rovnoměrně, t. j. $1/4 \cdot 8595 = 2148,75 \text{ N}$. VLIV dynamických účinků: $1,2 \cdot 2148,75 = 2578 \text{ N} = G_s$

5.3. Pevnostní kontrola závěsného rámu

5.3.1. Kontrola nosníků



obr. 17 .
zatěžující síly

nosníky 1 ... pojezdy pro kladky posuvu do stran

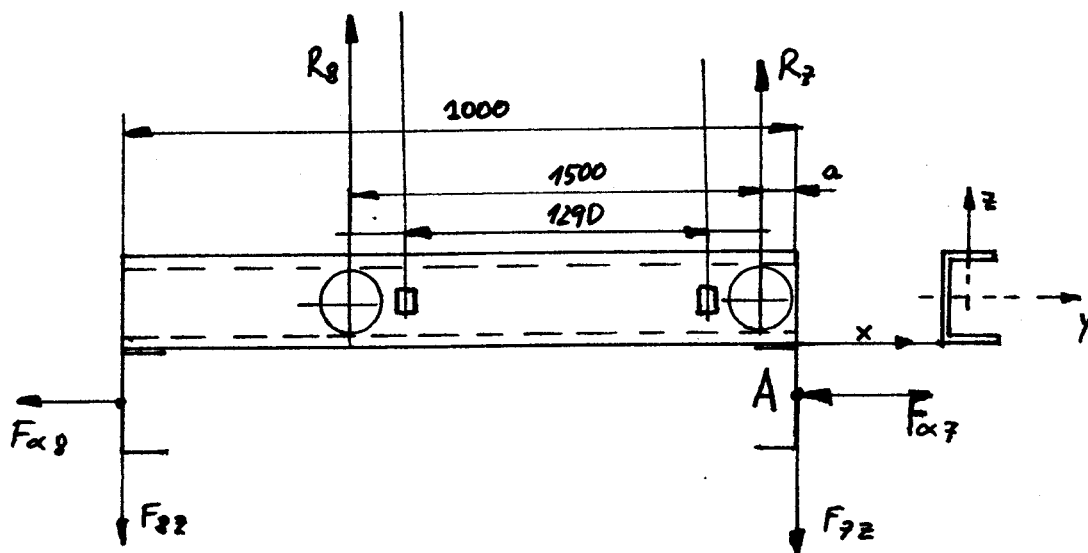
$$F_{5z} = F_5 + G_s = 5741 \text{ N}$$

$$F_{7z} = F_7 + G_s = 25034$$

$$F_{6z} = F_6 + G_s = 19044$$

$$F_{8z} = F_8 + G_s = 73503$$

Ostatní zatěžující síly najdeme na straně 13.

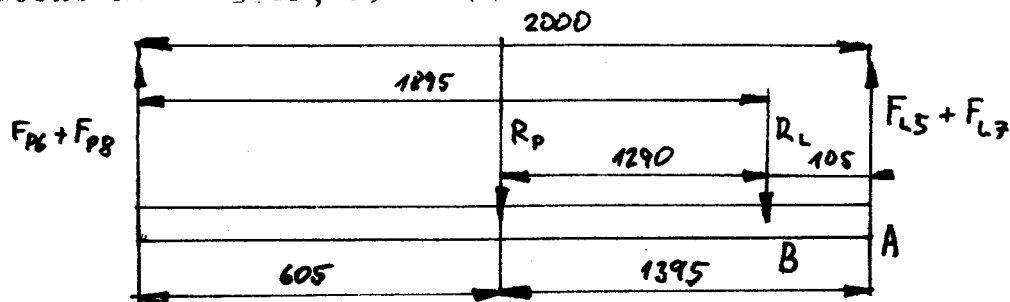


obr. 18 . více zatížená strana

$$\hat{A} : F_{z2} \cdot 2000 - R_8 \cdot 1500 = 0 \Rightarrow R_8 = F_{z2} \cdot \frac{2000}{1500} = 98\,004\text{ N}$$

$$R_7 = F_{z7} = 25\,034\text{ N} \quad / \text{ vzdálenost } a \text{ zanedbáváme} /$$

Podobně $R_6 = 25\,538\text{ N}$, $R_5 = 27\,41\text{ N}$



R_7 , R_8 ... reakce v hlavních kladkách pojezdu

R_P , R_L ... reakce v kladkách pro vedení rámu

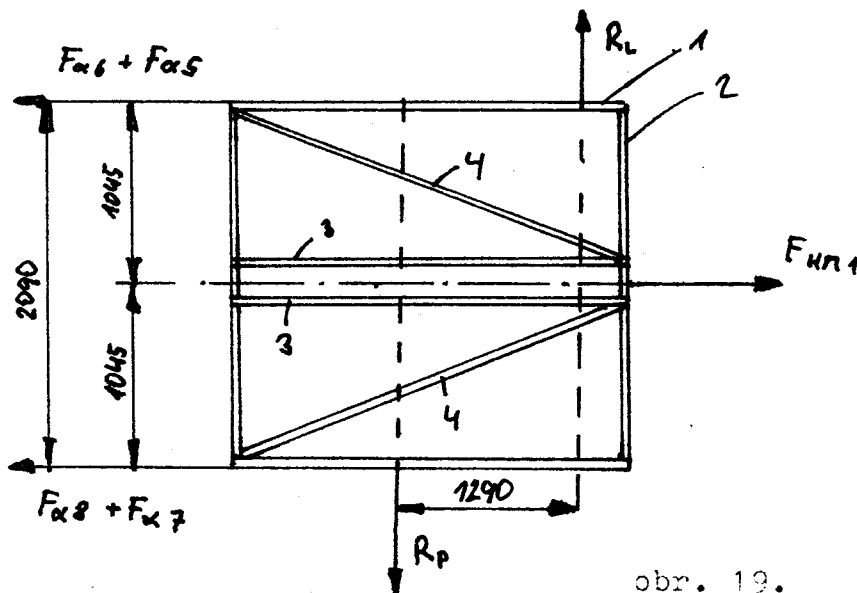
$$\hat{A} : (F_{P6} + F_{P8}) \cdot 2000 = R_P \cdot 1395 + R_L \cdot 105$$

$$\hat{B} : R_P \cdot 1290 - (F_{P6} + F_{P8}) \cdot 1895 + (F_{L5} + F_{L7}) \cdot 105 = 0$$

$$\Rightarrow R_P = 26\,200\text{ N}$$

$$R_L = \frac{(F_{\alpha 6} + F_{\alpha 8}) \cdot 2000 - R_p \cdot 1395}{105} = -745 \text{ N}$$

Reakce R_L vyšla záporná, to znamená, že bude mít opačný směr, bude působit na protilehlou kladku. Viz obr. 19.



obr. 19.

$$F_{HM1} = F_{\alpha 5} + F_{\alpha 6} + F_{\alpha 7} + F_{\alpha 8} = 25\,456 \text{ N}$$

Síly F_{HM1} , $F_{\alpha 5} - F_{\alpha 8}$ vytváří moment, který musí zachytit kladky pro vedení rámu.

$$M = -(F_{\alpha 5} + F_{\alpha 6}) \cdot 1,045 + (F_{\alpha 8} + F_{\alpha 7}) \cdot 1,045 = 14\,11,8 \text{ N.m}$$

$$R_H = \frac{M}{1,29} = 1094 \text{ N}$$

Celkové síly na kladky vedení rámu:

$$R_{ep} = R_p + 1094 = 27294 \text{ N}$$

$$R_{cl} = R_L + 1094 = 1839 \text{ N}$$

Podle obr. 18 je nosník pro pojezd zatížen:

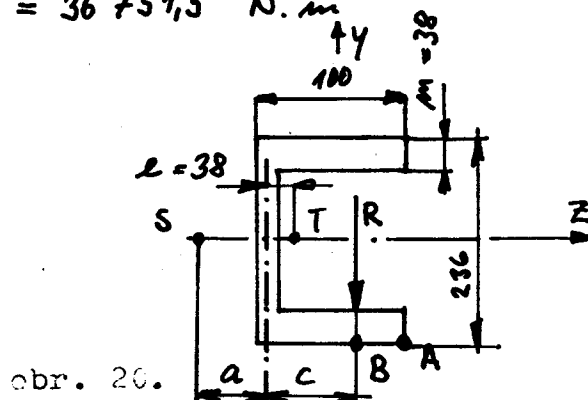
Nejvíce zatíženo je místo, kde působí reakce R₈:

$$M_{oxz} = F_{8z} \cdot 0,5 = 73\,503 \cdot 0,5 = 36\,751,5 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$T_{xz} = F_{8z} = 73\,503 \text{ N}$$

$$N = F_{\alpha z} = 1748,5 \text{ N}$$

$$M_k = R_8 \cdot (a+c)$$



obr. 20.

$$M_k = \frac{1500}{2000} \cdot \frac{R_8(a+c)}{1} = 0,75 \cdot 98004 \cdot (0,058 + 0,038) =$$

$$= 7056 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Předpokládám, že se M_k rozloží do obou stran nosníku v poměru délek, t.j. v poměru 500 : 1500.

Rozměry viz obr. 18 a 20 /pro nosník U 236 / 100 / 20

TP VŽ 501 / 82 je $a = 38$

$$c = 58$$

$$W_{oxz} = 700 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3, W_{oxy} = 163 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$S = 117 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$W_k = 120 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

V místech, kde působí reakce kladky, lze počítat napětí od t. zv. místního ohybu. Podle časopisu F+H 6/81 /Förderer+Heben/ vypočítáme napětí v místech A a B viz obr. 20.

podle těchto vzorců:

$$\sigma_{nA} = \frac{k_{yA} \cdot R}{m^2} \quad ; \quad \sigma_{nB} = \frac{k_{yB} \cdot R}{m^2}$$

$$k_{yA} = 1,28$$

$$k_{yB} = 0,9$$

$$M_{oxy} = (F_{p6} + F_{p8}) \cdot 0,605 = 18\,236 \cdot 0,605 = 11\,032 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$T_{xy} = F_{p6} + F_{p8} = 18\,236 \text{ N}$$

$$\hat{\sigma}_T = \frac{\sqrt{T_{xy}^2 + T_{yz}^2}}{S} = \frac{\sqrt{18\,236^2 + 73\,503^2}}{117 \cdot 10^{-4}} = 6,47 \text{ MPa}$$

$$\hat{\sigma}_M = \frac{M_k}{W_k} = \frac{7056}{120 \cdot 10^{-6}} = 58,8 \text{ MPa}$$

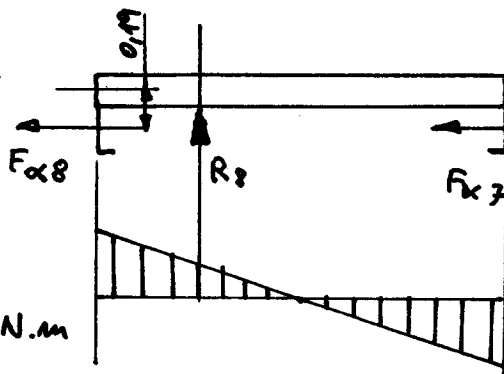
$$\hat{\sigma}_N = \frac{N}{S} = \frac{1748,5}{117 \cdot 10^{-4}} = 0,15 \text{ MPa}$$

$$\hat{\sigma}_{\alpha-y} = \frac{M_{oxy}}{W_{oxy}} = \frac{11\,032}{163 \cdot 10^{-6}} = 67,7 \text{ MPa}$$

$$\hat{\sigma}_{\alpha-z} = \frac{M_{\alpha z}}{W_{\alpha z}} = \frac{36\,751,5}{700 \cdot 10^{-6}} = 52,5 \text{ MPa}$$

$$\hat{\sigma}_{\alpha x} = \frac{M_{\alpha x}}{W_{\alpha x}} = \frac{166}{700 \cdot 10^{-6}} = 0,23 \text{ MPa}$$

Chybový moment od sil s indexem α má průběh viz obr. 21. V místě reakce R 8 bude $M_{0\alpha}$:



$$M_{\alpha x \text{ max}} = F_{\alpha 8} \cdot 0,19 = 332 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$M_{\alpha x} = M_{\alpha \text{ max}} - M_{\alpha \text{ max}} \cdot \frac{500}{1000} = 166 \text{ N}\cdot\text{m} \quad \text{obr. 21.}$$

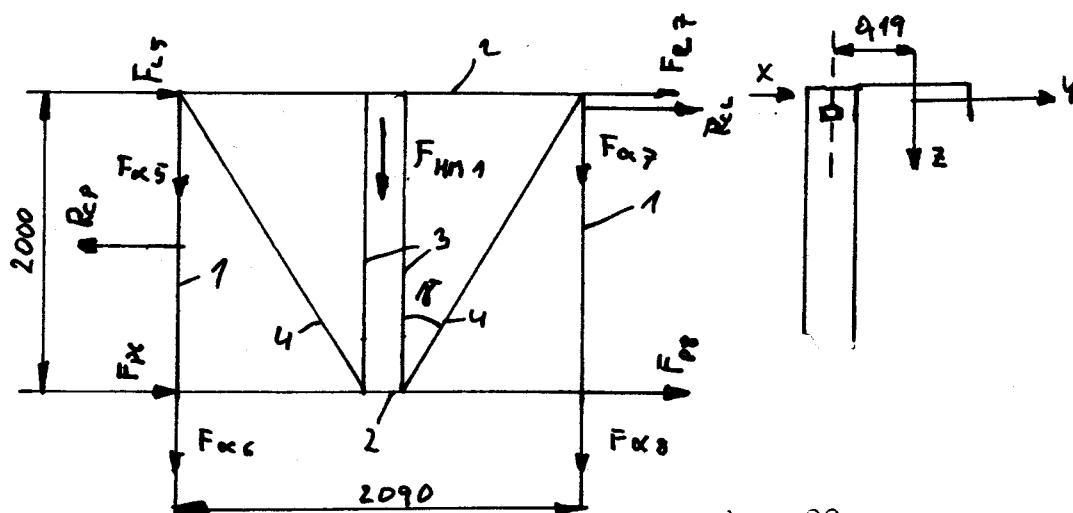
$$\hat{\sigma}_{MA} = \frac{k_{yA} \cdot R_8}{m^2} = \frac{128 \cdot 98\,004}{0,038^2} = 86 \text{ MPa}$$

$$\hat{\sigma}_{MB} = \frac{k_{yB} \cdot R_8}{m^2} = \frac{0,7 \cdot 98\,004}{0,038^2} = 60,4 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{ekv.} &= \sqrt{(\sigma_{ox1} + \sigma_{ox2} + \sigma_{om} + \sigma_{m1} + \sigma_N)^2 + 3(\tau_T + \tau_M)^2} \\ &= \sqrt{(67,7 + 52,2 + 0,23 + 86 + 0,15)^2 + 3(6,47 + 58,8)^2} = \\ &= 235,2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tento nosník je z materiálu 13220, jeho výpočtová pevnosť je 337 MPa, výpočet vyhovuje

Kontrola nosníku 2:



obr. 22.

$$M_{ox1} = \frac{1}{2} F_{m1} \cdot \frac{2,09}{2} = \frac{1}{2} 25456 \cdot \frac{2,09}{2} = 13300 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$T_{xy} = \frac{1}{2} F_{m1} = 12728 \text{ N}$$

$$N = F_{L7} + R_{cl} = 3610 + 1839 = 5449 \text{ N}$$

$$M_{ox2} = R_{cl} \cdot 0,19 = 1839 \cdot 0,19 = 349 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$T_{xz} = \frac{R_{cl} \cdot 0,19}{2,09} = \frac{1839 \cdot 0,19}{2,09} = 167 \text{ N}$$

Sílu F_{HM1} zachytí příčnický 4 /obr. 22:/ - moment M_{oxy} nezapočítáváme do zatěžujících účinků pro nosník 2

$$\sigma_N = \frac{N}{S} = \frac{5449}{32,2 \cdot 10^{-4}} = 1,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Mxz} = \frac{M_{oxz}}{W_{oxz}} = \frac{349}{191 \cdot 10^{-6}} = 1,82 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{\sqrt{T_{xy}^2 + T_{xz}^2}}{S} = \frac{\sqrt{12728^2 + 167^2}}{32,2 \cdot 10^{-4}} = \frac{12729}{32,2 \cdot 10^{-4}} = \\ &= 3,9 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{ekv} &= \sqrt{(\sigma_N + \sigma_{Mxz})^2 + 3\tau^2} = \sqrt{(1,7 + 1,82)^2 + 3 \cdot 3,9^2} = \\ &7,6 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Hodnoty $S = 32,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$W_{xz} = 191 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

jsou pro profil U 200 z ma-

teriálu 11 373.

Síla v příčnicku 4:

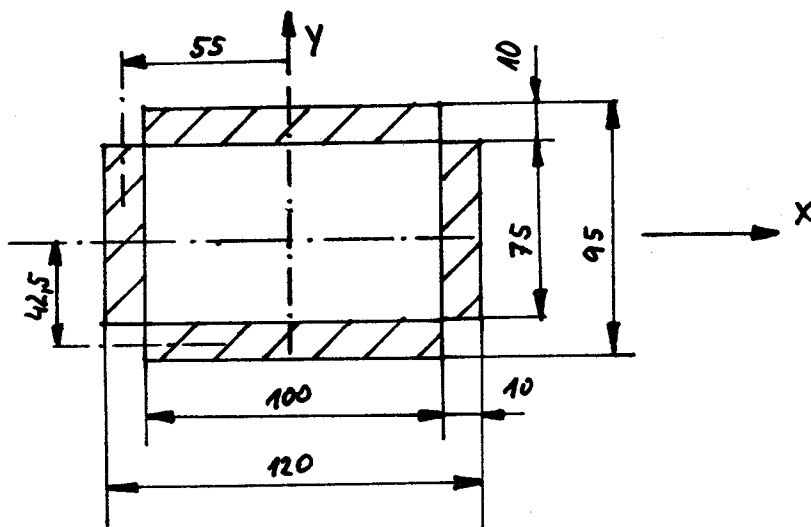
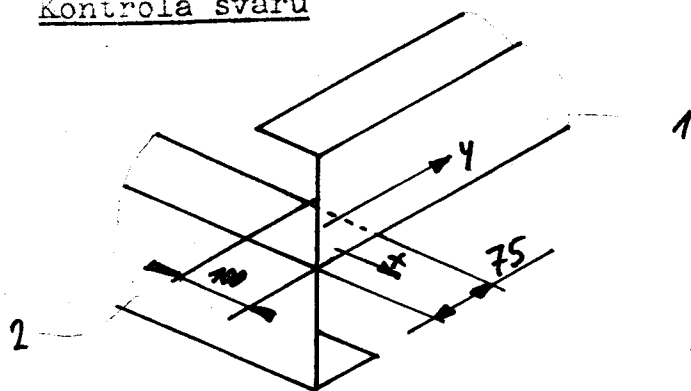
Rozměry viz obr. 22.

$$\gamma = \arctg \frac{1000}{2000} = 26^\circ$$

$$F_4 = \frac{1}{2} \cdot F_{HM1} \cdot \frac{1}{\cos \gamma} = \frac{1}{2} \cdot 25456 \cdot \frac{1}{\cos 26^\circ} = 14230 \text{ N}$$

Pro namáhání na vzpěr je zde situace příznivější, než u podobného příčnicku spreadru, a proto kontrolu na vzpěr provádět nebudeme.

5.3.2. Kontrola svaru



obr. 22 .

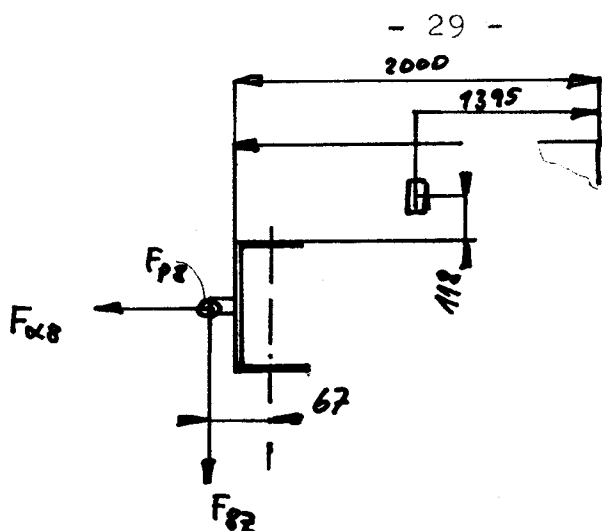
$$W_{ox} = \frac{2}{0,095} \left[\frac{2}{12} \cdot 0,01 \cdot 0,075^3 + \frac{2}{12} \cdot 0,1 \cdot 0,01^3 + 2 \cdot 0,1 \cdot 0,01 \cdot 0,0425^2 \right] =$$

$$= 9,12 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$W_{oy} = \frac{2}{0,12} \left[\frac{1}{12} \cdot 0,01 \cdot 0,1^3 + \frac{1}{12} \cdot 0,075 \cdot 0,01^3 + 0,075 \cdot 0,01 \cdot 0,055^2 \right] \cdot 2 =$$

$$= 1,036 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$S = 2 \cdot 0,01 \cdot [0,075 + 0,1] = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$



obr. 24.

$$\tau_{\perp} = \frac{F_{F22}}{S} = \frac{73503}{3,5 \cdot 10^{-3}} = 21 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp x} = \frac{F_{F22} \cdot 0,067 - F_{F22} \cdot 0,1}{W_{0x}} = \frac{73503 \cdot 0,067 - 1748,5 \cdot 0,1}{9,12 \cdot 10^{-5}} = 51 \text{ MPa}$$

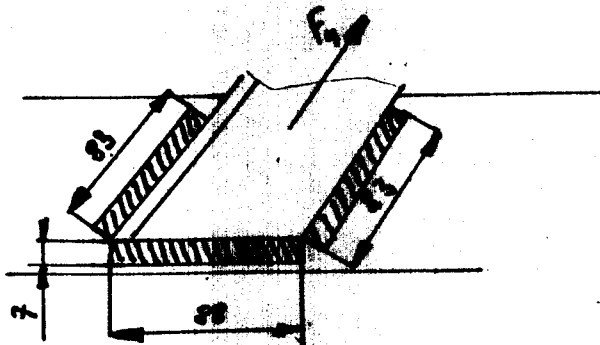
$$\tau_{\parallel} = \frac{\sqrt{F_{F22}^2 + F_{F22}^2}}{S} = \frac{\sqrt{9118^2 + 1748,5^2}}{3,5 \cdot 10^{-3}} = 2,65 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp y} = \frac{M_{0y}}{W_{0y}} = \frac{R_p \cdot \frac{1395}{2000} \cdot 0,118}{1,036 \cdot 10^{-4}} = 21,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_s = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\perp x} + \tau_{\perp y} + \tau_{\perp}}{0,75} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{\parallel}}{0,65} \right)^2} = 125 \text{ MPa}$$

Zde jsou svařeny materiály U 236 z oceli 13220 a U 200 z oceli 11373, které se svařují materiálem odpovídající materiálu nižší pevnosti. Svar vyhovuje.

Přivaření příčmků 4 :



obr. 25:

$$S = 7 (2 \cdot 83 + 88) = 1778 \text{ mm}^2 = 1778 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\bar{\sigma}_H = \frac{F_v}{S} = \frac{14230}{1778 \cdot 10^{-3}} = 7,9 \text{ MPa}$$

$$\tau_s = \frac{\bar{\sigma}_H}{0,65} = \frac{7,9}{0,65} = 12,2 \text{ MPa}$$

5.3.3. Výpočet hmotnosti rámu

U 236 / 100 / 20 jedn. hmotnost: 92 kg/m

Celková hmotnost: $2 \cdot 2 \cdot 92 = 368 \text{ kg}$

U 200 jedn. hmotnost 25,3 kg/m , hmotnost:

$2 \cdot 2,09 \cdot 25,3 = 105,7 \text{ kg}$

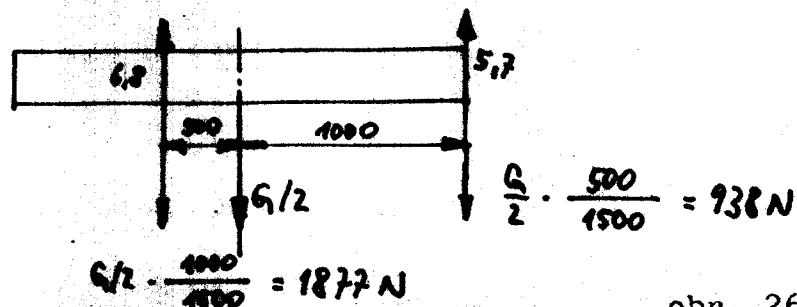
L 80 X 10 jedn. hmot. 11,9 kg/m

Celk: délka: $2 \cdot 2 + 2 \cdot 2 / \cos 26 = 8,43 \text{ m}$

Hmotnost: $8,43 \cdot 11,9 = 100,3 \text{ kg}$

Celková hmotnost rámu : $368 + 105,7 + 100,3 = 574 \text{ kg}$

Celková tíha: $G = m \cdot g = 574 \cdot 9,81 = 5630 \text{ N}$



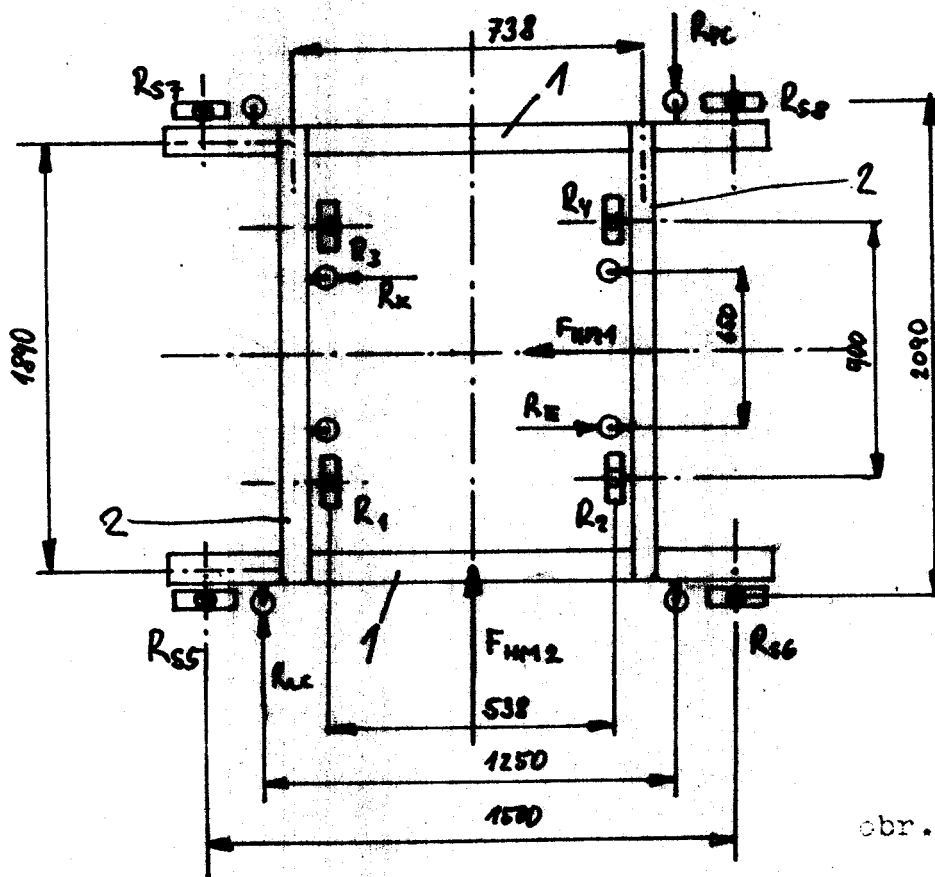
obr. 26.

K silám R5 - R8 připočteme síly od hmotnosti rámu:

$$\begin{aligned}RS5 &= R5 + 938 = 5741 + 938 = 6679 \text{ N} \\RS6 &= R6 + 1877 = 25338 + 1877 = 27215 \text{ N} \\RS7 &= R7 + 938 = 25034 + 938 = 25972 \text{ N} \\RS8 &= R8 + 1877 = 98004 + 1877 = 99881 \text{ N}\end{aligned}$$

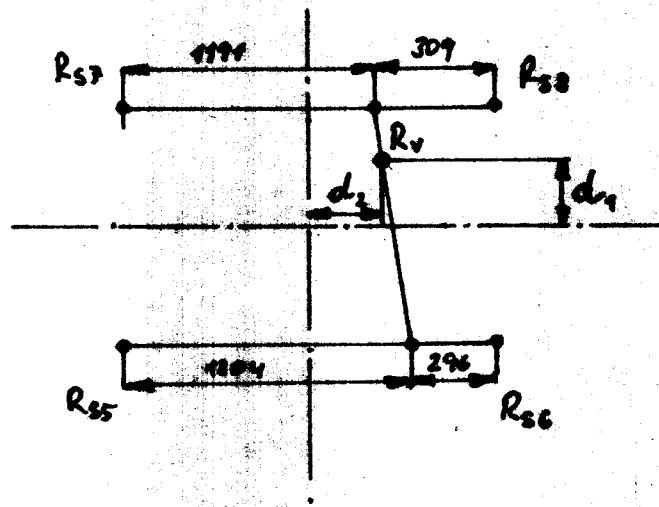
5.4. Pevnostní kontrola rámu s kladkami

5.4.1. Kontrola nosníků



obr. 27.

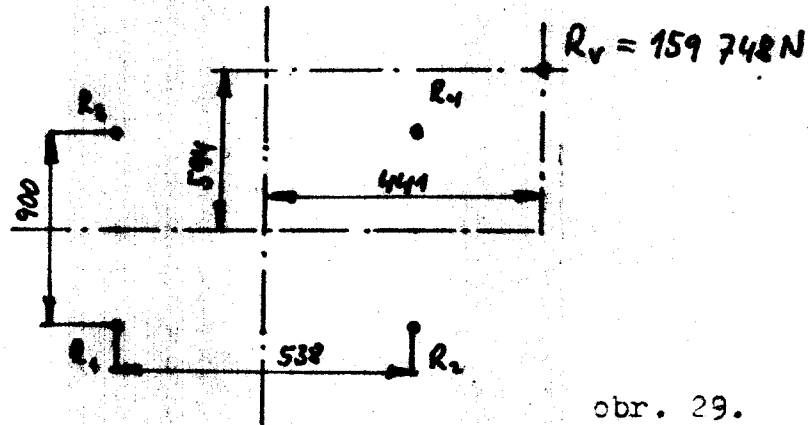
Síly R_1, R_2, R_3, R_4 zjistíme tak, že určíme výslednici sil $RS_5 - RS_8$ a tu pak opět rozložíme. Najdeme výslednice RS_7 a RS_8 , pak RS_5 a RS_6 , ty složíme, viz obr. 28. Rozměry odpovídají velikostem sil.



$$d_2 = 441$$

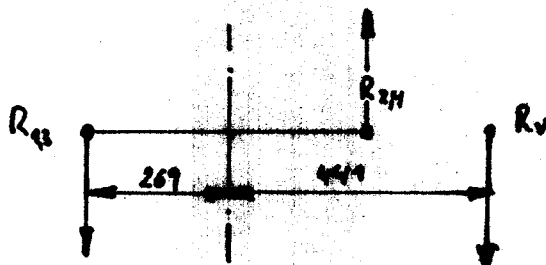
$$d_4 = 594$$

obr. 28.



obr. 29.

Dále síly R_v rozložíme na dvojice sil R_1, R_3 a R_2, R_4 :



$$R_v \cdot (441 + 269) = R_{24} \cdot 538$$

$$R_{24} = R_v \cdot \frac{441 + 269}{538} = 210820 \text{ N}$$

$$R_{13} = R_{24} - R_v = 51072 \text{ N}$$

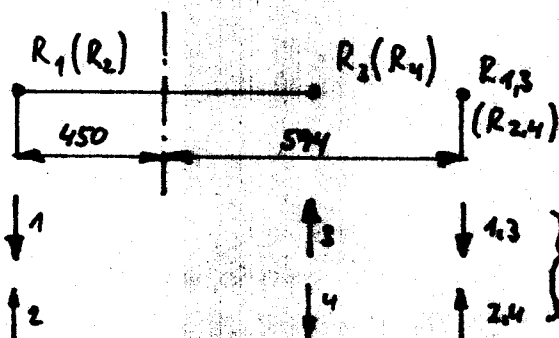
$$R_4 = R_{24} \cdot \frac{594 + 450}{900} = 244551 \text{ N}$$

$$R_2 = R_4 - R_{24} = 33731 \text{ N}$$

$$R_3 = R_{13} \cdot \frac{594 + 450}{900} = 59243 \text{ N}$$

$$R_1 = R_{13} - R_3 = 8171 \text{ N}$$

obr. 30



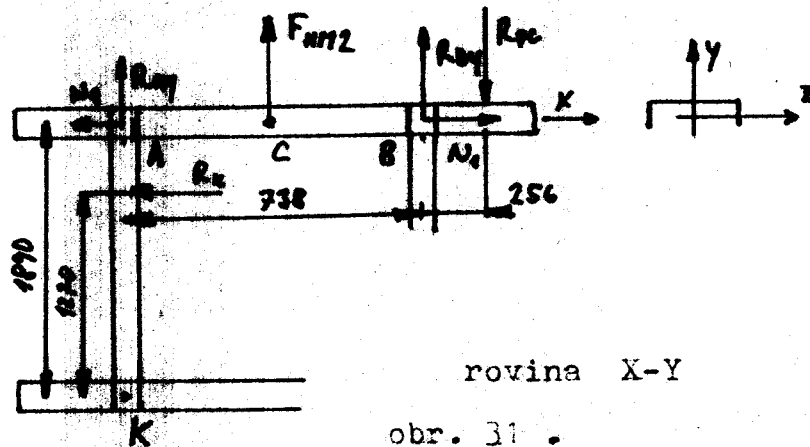
$$F_{HM2} = R_{pc} - R_{lc} = 27294 - 1839 = 25455 \text{ N}$$

$$R_{lc} \cdot 1250 = R_k \cdot 650 \Rightarrow R_k = R_{lc} \cdot \frac{1250}{650} = 2554 \text{ N}$$

$$R_E = R_k + F_{HM1} = 28010$$

Použité hodnoty sil se nachází na straně 21 a 23

Nosník 1



$$\hat{K} \quad N_s = R_k \cdot \frac{1230}{1890} = 2554 \cdot \frac{1230}{1890} = 1716 \text{ N}$$

$$\hat{A} \quad R_{pc} \cdot (256 + 738) - R_{By} \cdot 738 - F_{HM2} \cdot \frac{738}{2} = 0$$

$$\Rightarrow R_{By} = \frac{-F_{HM2} \cdot \frac{738}{2} + R_{pc} (256 + 738)}{738} = \frac{-25455 \cdot \frac{738}{2} + 27294 \cdot 994}{738} =$$

$$= 24034 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = F_{HM2} + R_{By} - R_{pc} = 25455 + 24034 - 27294 = 22195 \text{ N}$$

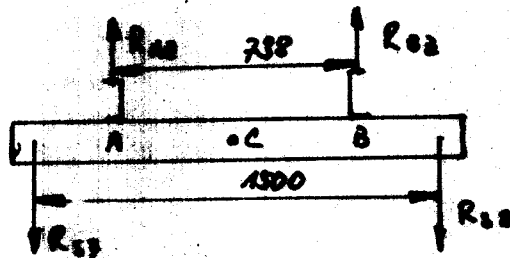
$$C: M_{ocy} = R_k \cdot \frac{1238}{2} = 8190 \text{ N.m}$$

$$T_{yB} = R_{pc} = 27294 \text{ N}$$

$$B: M_{oby} = R_{pc} \cdot 0,256 = 6987 \text{ N.m}$$

$$T_{yc} = R_{Ay} = 22195 \text{ N}$$

Rovina X-Z



obr. 32.

$$\hat{A}: R_{S7} \cdot \frac{1500-738}{2} + R_{B2} \cdot 738 - R_{L2} \cdot \frac{1500}{2} + \frac{738}{2} = 0$$

$$R_{B2} = \frac{R_{L2} \cdot \frac{1500+738}{2} - R_{S7} \cdot \frac{1500-738}{2}}{738} =$$

$$= \frac{99881 \cdot \frac{1500+738}{2} - 25972 \cdot \frac{1500-738}{2}}{738} = 189601 \text{ N}$$

$$R_{A2} = R_{S7} + R_{S7} - R_{B2} = 99881 - 25972 - 189601 \text{ N} =$$

$$= -63748 \text{ N}$$

$$B: M_{0zB} = R_{L2} \cdot \frac{1,5 - 0,738}{2} = 38055 \text{ N.m}$$

$$C: M_{0zC} = R_{S7} \cdot \frac{1,5}{2} - R_{B2} \cdot \frac{0,738}{2} = 4947 \text{ N.m}$$

$$T_{zB} = R_{L2} = 99881 \text{ N}$$

$$T_{zC} = R_{S7} - R_{A2} = 25972,5 - (-63748) = 89720 \text{ N}$$

Pro profil U 236 / 100 / 20 počítáme / statické veličiny profilu najdeme na str. 24.

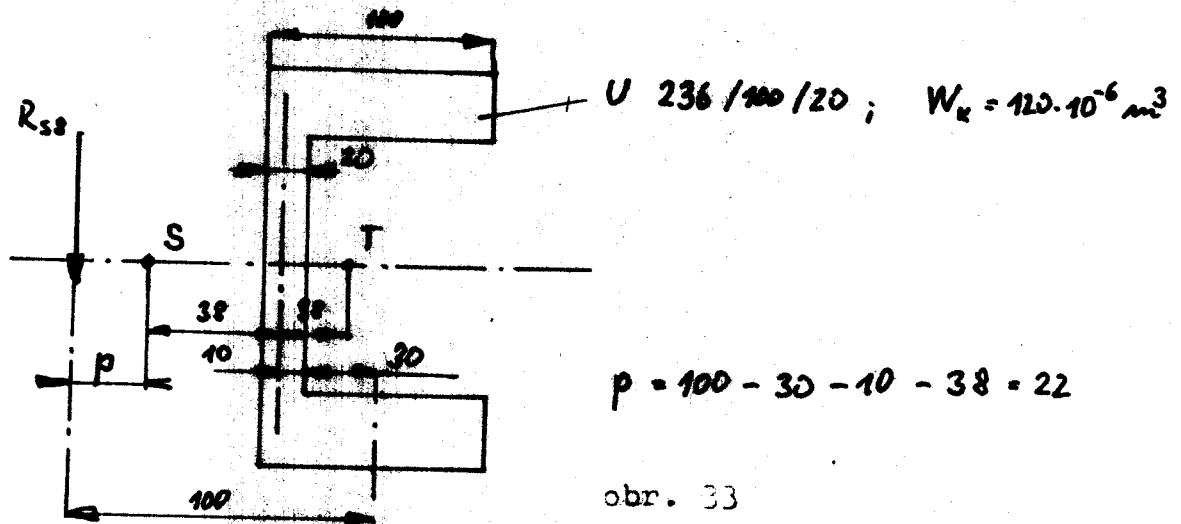
$$B: \sigma_N = \frac{N_x}{S} = \frac{99881}{417 \cdot 10^{-4}} = 0,146 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{0By} = \frac{M_{0By}}{W_{By}} = \frac{4947}{463 \cdot 10^{-6}} = 42 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{0Bz} = \frac{M_{0Bz}}{W_{0z}} = \frac{38055}{340 \cdot 10^{-6}} = 54 \text{ MPa}$$

$$T_B = \sqrt{T_{yB}^2 + T_{zB}^2} = \sqrt{27294^2 + 99881^2} = 103543 \text{ N}$$

$$\tau_{TB} = \frac{T_B}{S} = \frac{103543}{117 \cdot 10^4} = 8,85 \text{ MPa}$$



$$p = 100 - 30 - 10 - 38 = 22$$

obr. 33

$$\tau_x = \frac{M_x}{W_x} + \frac{R_{S8} \cdot p}{W_x} = \frac{99881 \cdot 0,022}{120 \cdot 10^{-6}} = 18,31 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{enVB}} = \sqrt{(\sigma_N + \sigma_{\text{ocy}} + \sigma_{\text{ocz}})^2 + 3 \cdot (\tau_{TB} + \tau_x)^2} = 107 \text{ MPa}$$

C: $\sigma_N = 0,146 \text{ MPa}$

$$\sigma_{\text{ocy}} = \frac{M_{\text{ocy}}}{W_{\text{oy}}} = \frac{8190}{168 \cdot 10^{-6}} = 50,2 \text{ MPa}$$

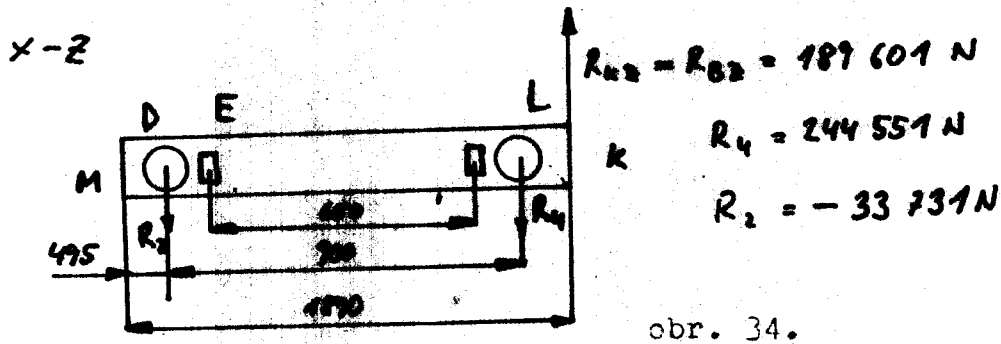
$$\sigma_{\text{ocz}} = \frac{M_{\text{ocz}}}{W_{\text{oz}}} = \frac{4947}{700 \cdot 10^{-6}} = 7 \text{ MPa}$$

$$\tau_c = \frac{\sqrt{T_{\text{cy}}^2 + T_{\text{cz}}^2}}{S} = \frac{\sqrt{22175^2 + 87720^2}}{117 \cdot 10^4} = 7,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{enVC}} = \sqrt{(\sigma_N + \sigma_{\text{ocy}} + \sigma_{\text{ocz}})^2 + 3 \cdot \tau_c^2} = 58,95 \text{ MPa}$$

V místech B i C nosníku 1 je přípustné zatížení.

Nosník 2 ::



L:

$$M_{0Lz} = \frac{R_{kz} \cdot (1,87 - 0,9)}{2} = 93852 \text{ N.m}$$

$$T_{Lz} = R_{bz} = 187601 \text{ N}$$

$$N = R_{by} = 24034 \text{ N}$$

$$M_{KL} = R_y \cdot 0,022 = 244551 \cdot 0,022 = 5380 \text{ N.m}$$

$$M_{KD} = R_z \cdot 0,022 = -33731 \cdot 0,022 = -742 \text{ N.m}$$

$$M_{KK} = M_{KL} \cdot \frac{900+495}{1870} + M_{KD} \cdot \frac{495}{1870} = 3776 \text{ N.m}$$

$$M_{KM} = M_{KL} \cdot \frac{495}{1870} + M_{KD} \cdot \frac{900+495}{1870} = 863,4 \text{ N.m}$$

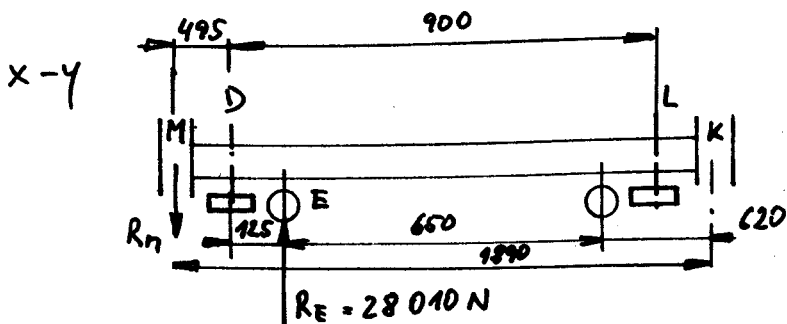
M_{KL} a M_{KD} se rozdělí do upevnění v bodech K a M v poměru délek viz obr. 34

$$E: M_{0Ez} = R_{kz} \cdot \frac{1,87 - 0,65}{2} - R_y \cdot \frac{0,9 - 0,65}{2} = 86983 \text{ N.m}$$

$$M_{KE} = M_{KL} - M_{KK} = 5380 - 3776 = 1604 \text{ N.m}$$

$$T_{Ez} = R_y - R_k = 244551 - 187601 = 54950 \text{ N}$$

$$N_E = N_{by} = 24034 \text{ N}$$



obr. 35.

$$\hat{K}: R_E \cdot (650 + 620) = R_M \cdot 1890 \Rightarrow R_M = R_E \cdot \frac{650 + 620}{1890} = 18821 \text{ N}$$

$$M_{0EY} = R_M \cdot 0,62 = 11670 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$T_{EY} = R_M = 18821 \text{ N}$$

$$L: M_{0LY} = R_M \cdot \frac{(900 + 495)}{1000} - R_E (0,9 - 0,125) = 4547 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$T_{LY} = R_E - R_M = 28010 - 18821 = 9189 \text{ N}$$

$$L: \sigma_{0Lz} = \frac{M_{0Lz}}{W_{0z}} = \frac{93852}{700 \cdot 10^{-6}} = 134 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{0Ly} = \frac{M_{0Ly}}{W_{0y}} = \frac{4547}{163 \cdot 10^{-6}} = 27,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{NL} = \frac{N}{S} = \frac{24034}{117 \cdot 10^{-4}} = 2 \text{ MPa}$$

$$\tilde{\tau}_{TL} = \frac{\sqrt{T_{Lz}^2 + T_{Ly}^2}}{S} = \frac{\sqrt{189601^2 + 9189^2}}{117 \cdot 10^{-4}} = 16,2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{KL} = \frac{M_{KK}}{W_K} = \frac{3776}{120 \cdot 10^{-6}} = 31,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{ekvl}} = \sqrt{(\sigma_{0Lz} + \sigma_{0Ly} + \sigma_{NL})^2 + 3(\tilde{\tau}_{TL} + \tau_{KL})^2} = 183 \text{ MPa}$$

$$E: \quad \sigma_{\sigma E z} = \frac{M_{\sigma E z}}{W_{\sigma z}} = \frac{86\,983}{700 \cdot 10^{-6}} = 124 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\sigma E y} = \frac{M_{\sigma E y}}{W_{\sigma y}} = \frac{11\,670}{163 \cdot 10^{-6}} = 71,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\sigma E} = \sigma_{\sigma L} = 2 \text{ MPa}$$

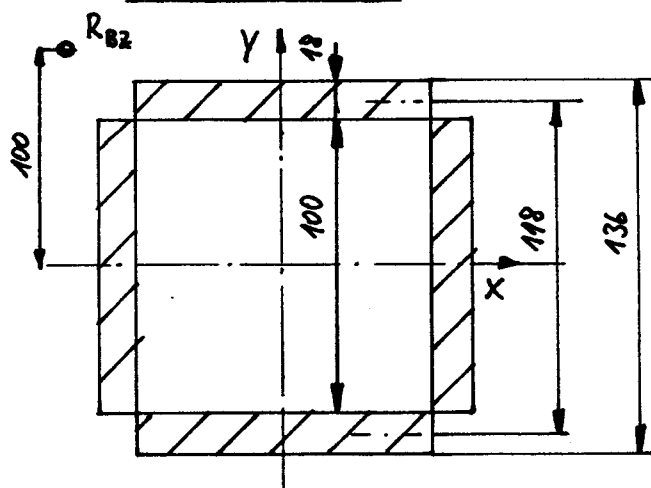
$$\tau_T = \frac{\sqrt{T_{Ez}^2 + T_{Ey}^2}}{S} = \frac{\sqrt{54950^2 + 18829^2}}{117 \cdot 10^{-4}} = 5 \text{ MPa}$$

$$\tau_K = \frac{M_{KE}}{W_K} = \frac{1604}{120 \cdot 10^{-6}} = 13,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{ekv } E} = \sqrt{(\sigma_{\sigma E z} + \sigma_{\sigma E y} + \sigma_{\sigma E})^2 + 3(\tau_T + \tau_K)^2} = 200 \text{ MPa}$$

Pro materiál 13 220 s výpočtovou pevností 337 MPa vyhovují výpočty v místě L i E.

5.4.2. Kontrola svař



obr. 36.

$$W_{\sigma x} = W_{\sigma y} = W_{\sigma} = \frac{2}{0,136} \left[\frac{2}{12} \cdot 0,1 \cdot 0,018^3 + 2 \cdot 0,1 \cdot 0,059^2 + \frac{2}{12} \cdot 0,018 \cdot 0,1^3 \right] =$$

$$= 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$S = 4 \cdot 0,018 \cdot 0,1 = 0,0072 \text{ m}^2$$

Vlivem vystředění kladek od osy profilu "U" o 100 mm bude hlavní síla namáhající svar / $R_{BZ} = 189601 \text{ N}$ / mít působíště vyosené také o 100 mm od osy X i Y viz obr. 36. Chybový moment svaru bude k ose X i k ose Y stejný, ohybové moduly k obou osám jsou také stejné, lze psát:

$$\tilde{\tau}_{10} = \frac{M_0}{W_0} \cdot 2 = \frac{R_{BZ} \cdot 0,1 \cdot 2}{2,2 \cdot 10^{-4}} = \frac{189601 \cdot 0,1 \cdot 2}{2,2 \cdot 10^{-4}} = 164 \text{ MPa}$$

$$\tilde{\tau}_{1N} = \frac{N}{S} = \frac{R_{BZ}}{S} = \frac{189601}{0,0072} = 26 \text{ MPa}$$

$$\tilde{\tau}_{1T} = \frac{T}{S} = \frac{\sqrt{R_{By}^2 + N_i^2}}{S} = \frac{\sqrt{24034^2 + 1716^2}}{0,0072} = 3,3 \text{ MPa}$$

$$\tilde{\tau}_s = \sqrt{\left(\frac{\tilde{\tau}_{10} + \tilde{\tau}_{1N}}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{\tilde{\tau}_{1T}}{0,65}\right)^2} = 253 \text{ MPa}$$

Zde jsou svařeny dva materiály 13 220 . Pro tento materiál je určena svařovací elektroda E Ni1 Mo Cr V - 23 B. Namáhání je menší než výpočtová pevnost mat. 13 220 /337 MPa/, svar vyhovuje.

5.4.3. Výpočet hmotnosti rámu

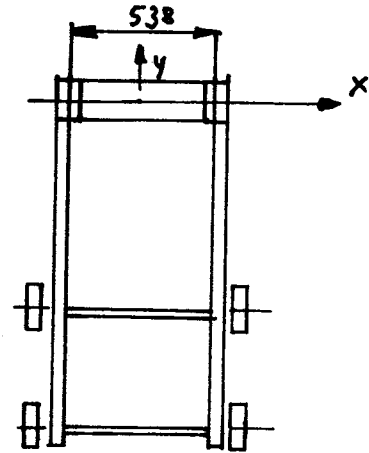
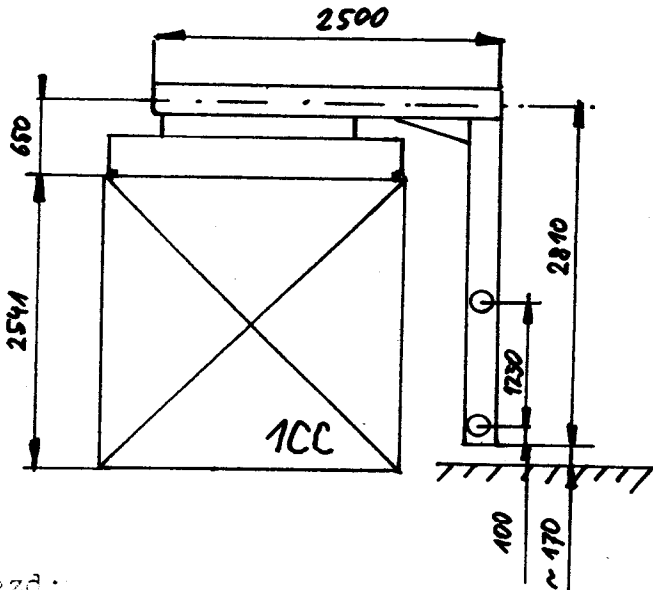
U 236 / 100 / 20 , jednotková hmotnost 92 kg/m,
celková délka : 2 . 1,7 + 2 . 1,99 = 7,38 m
celková tíha rámu: G = 92 . 7,38 . 9,81 = 679 . 9,81 =
= 6661 N - rozloží se rovnoměrně do 4 kladek:
1/4 . 6661 = 1665 N

$$\begin{aligned} R4C &= R4 + 1665 = 244551 + 1665 = 246216 \text{ N} \\ R3C &= R3 - 1665 = 59243 - 1665 = 57578 \text{ N} \\ R2C &= R2 - 1665 = 33731 - 1665 = 32066 \text{ N} \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} R4C \\ R3C \\ R2C \end{aligned}} \right\} \text{ opačný směr}$$

$$R1C = R1 + 1665 = 8171 + 1665 = 9836 \text{ N}$$

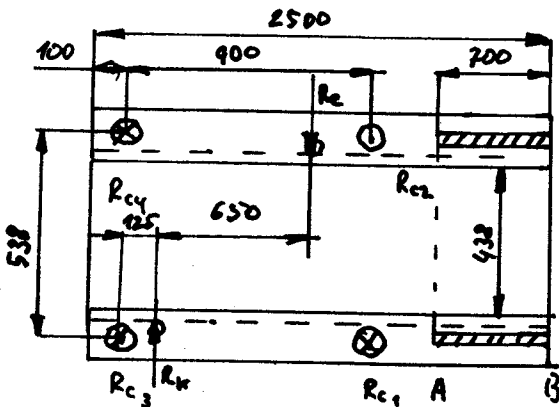
5.5. Kontrola rámu zdvihu

5.5.1. Kontrola pojezdu



obr. 37.

Pojezd:



obr. 38.

$$M_{K1} = (R_{c4} - R_{c2} + R_{c3} - R_{c1}) \cdot \frac{0,538}{2} = 70449$$

Zjednodušení: M_{K1} nahradím dvojicí sil T_x s působíšti vzdálenými 438 mm, rozm. viz obr. 38.

$$T_K = \frac{M_{K1}}{0,438} = 160842 \text{ N}$$

$$T_x = R_{c4} - R_{c3} - R_{c2} + R_{c1} = 166468 \text{ N}$$

$$M_{0Ax} = (R_{C4} - R_{C3}) \cdot (2,5 - 0,7 - 0,1) + (R_{C1} - R_{C2}) \cdot (2,5 - 0,9 - 0,7 - 0,1) =$$

$$= 302\,900 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$M_{0Bx} = (R_{C4} - R_{C3}) \cdot (2,5 - 0,1) + (R_{C1} - R_{C2}) \cdot (2,5 - 0,9 - 0,1) =$$

$$= 419\,386 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$M_{0Ay} = R_K \cdot (2,5 - 0,7 - 0,65 - 0,125 - 0,1) - R_E \cdot (2,5 - 0,7 - 0,125 - 0,1) =$$

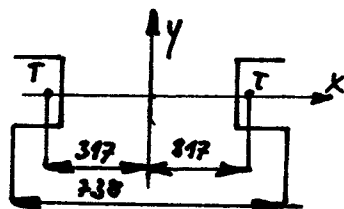
$$= 41\,753 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$M_{0By} = R_K \cdot (2,5 - 0,65 - 0,125 - 0,1) - R_E \cdot (2,5 - 0,125 - 0,1) =$$

$$59\,572 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$T_y = R_E - R_K = 25\,456 \text{ N}$$

A:



obr. 39.

$$W_{0y1} = \frac{2}{0,738} \left[J_y \cdot 2 + 2F \cdot 0,317^2 \right] = 6,426 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{0x1} = 2W_{0x} = 1400 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Vypočteno z hodnot pro U 236 / 100 / 20 :

$$J_y = 1002 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 \quad J_x = 8270 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$W_{0x} = 700 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \quad W_{0y} = 163 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$F = 117 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\tau_{TA} = \frac{\sqrt{T_x^2 + T_y^2}}{2F} = \frac{\sqrt{166\,468^2 + 25\,456^2}}{2 \cdot 117 \cdot 10^{-4}} = 7,2 \text{ MPa}$$

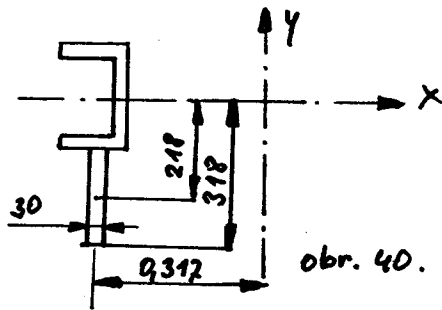
$$\sigma_{\text{oxA}} = \frac{M_{\text{oxA}}}{W_{\text{ox1}}} = \frac{302900}{1400 \cdot 10^{-6}} = 216 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{oyA}} = \frac{M_{\text{oyA}}}{W_{\text{oy1}}} = \frac{41753}{6,426 \cdot 10^{-3}} = 6,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{KA}} = \frac{T_{\text{K}}}{F} = \frac{160842}{117 \cdot 10^{-4}} = 13,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{ekvA}} = \sqrt{(\sigma_{\text{oxA}} + \sigma_{\text{oyA}})^2 + 3(\tau_{\text{KA}} + \tau_{\text{TA}})^2} = 225 \text{ MPa}$$

B:



$$W_{\text{ox2}} = \frac{1}{0,318} \left[J_x \cdot 2 + 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 0,03 \cdot 0,2^3 + 2 \cdot 0,03 \cdot 0,2 \cdot 0,218^2 \right] = 2,439 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{\text{oy2}} = \frac{2}{0,738} \left[J_y \cdot 2 + 2F \cdot 0,317^2 + 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 0,2 \cdot 0,03^3 + 2 \cdot 0,2 \cdot 0,03 \cdot 0,317^2 \right] = 9,697 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$S = 2F + 2 \cdot 0,03 \cdot 0,2 = 354 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\tau_{\text{K}} = \frac{T_{\text{K}} \cdot 2}{S} = \frac{160842}{177 \cdot 10^{-4}} = 9 \text{ MPa}$$

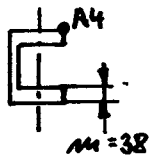
$$\tau_{\text{TB}} = \frac{\sqrt{T_y^2 + T_x^2}}{S} = \frac{\sqrt{25456^2 + 166468^2}}{354 \cdot 10^{-4}} = 4,75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{oxB}} = \frac{M_{\text{ox2}}}{W_{\text{ox2}}} = \frac{419386}{2,439 \cdot 10^{-3}} = 172 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{0yB} = \frac{M_{0By}}{W_{0y2}} = \frac{57572}{9,677 \cdot 10^{-3}} = 6,14 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ekvB} = \sqrt{(\sigma_{0xB} + \sigma_{0yB})^2 + 3(\tau_k + \tau_{TB})^2} = 179 \text{ MPa}$$

Napětí od místního ohybu v místě působení síly RC4 :



$$\sigma_{MA4} = \frac{K_{yA} \cdot R_{c4}}{m^2} = \frac{1,28 \cdot 246216}{0,038^2} = 218 \text{ MPa}$$

Místo působení síly RC2 :

$$\sigma_{MA2} = \frac{K_{yA} \cdot R_{c2}}{m^2} = \frac{1,28 \cdot 32066}{0,038^2} = 28,4 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{0x2} &= (R_{c4} - R_{c3}) \cdot 0,9 \cdot \frac{1}{W_{0x1}} = \frac{(246216 - 57578) \cdot 0,9}{1400 \cdot 10^{-6}} = \\ &= 121 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{0y2} = [R_k \cdot (0,65 + 0,125) - R_E \cdot 0,125] \cdot \frac{1}{W_{0y1}} =$$

$$= [2554(0,65 + 0,125) - 28010 \cdot 0,125] \cdot \frac{1}{6,426 \cdot 10^{-3}} = 0,23 \text{ MPa}$$

$$M_{k2} = (R_{c4} + R_{c3}) \cdot \frac{0,538}{2} - (246216 + 57578) \cdot \frac{0,538}{2} \cdot 8,17 \cdot 10^4 \text{ N.m.}$$

$$T_{k2} = \frac{M_k}{0,438} = \frac{8,17 \cdot 10^4}{0,438} = 1,86 \cdot 10^5 \text{ N}$$

$$\tau_{k2} = \frac{T_k}{F} = \frac{1,86 \cdot 10^5}{117 \cdot 10^{-4}} = 16 \text{ MPa}$$

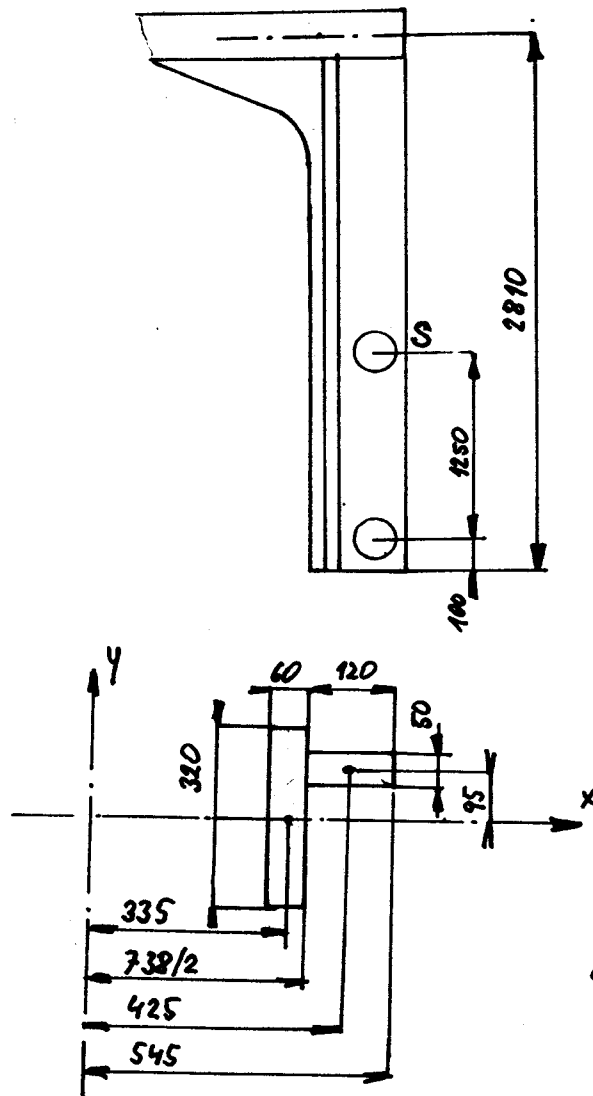
$$\tau_{T2} = \frac{R_{c4} - R_{c3}}{S} = \frac{246\,216 - 57578}{234 \cdot 10^{-4}} = 8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{kurv2}} = \sqrt{(\sigma_{\text{oxz}} + \sigma_{\text{ogz}} + \sigma_{\text{nz}})^2 + 3(\tau_x + \tau_T)^2} =$$

$$\sqrt{(121 + 0,23 + 51)^2 + 3(16 + 8)^2} = 177,1 \text{ MPa}$$

Pro materiál 13 220 kontrolovaná místa pevnostně vyhovují.

5.5.2 Kontrola stojiny :



obr. 41.

$$J_{xs} = 2 \cdot \left[\frac{1}{12} \cdot 0,06 \cdot 0,32^3 + \frac{1}{12} \cdot 0,12 \cdot 0,05^3 + 0,05 \cdot 0,12 \cdot 0,095^2 \right] = 4,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$W_{\text{oxs}} = \frac{J_x}{0,16} = 2,74 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$J_{ys} = 2 \left[\frac{1}{12} \cdot 0,32 \cdot 0,06^3 + 0,06 \cdot 0,32 \cdot 0,335^2 + \frac{1}{12} \cdot 0,05 \cdot 0,12^3 + 0,12 \cdot 0,05 \cdot 0,425^2 \right]$$
$$= 5,784 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$W_{Oys} = \frac{J_y}{0,545} = 1,06 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$S_s = [0,32 \cdot 0,06 + 0,12 \cdot 0,05] \cdot 2 = 0,0504 \text{ m}^2$$

$$M_{Ks} = M_{OBy} = 57572 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{Oxs} = M_{OBy} + F_{H12} (2,81 - 1,25 - 0,1) = 456601 \text{ N} \cdot \text{m}$$
$$(F_{H12} = 25455 \text{ N})$$

$$M_{Oys} = M_{K1} = 70449 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$N_s = R_{c4} - R_{c3} - R_{c2} + R_{c1} = 166408 \text{ N}$$

$$T_s = F_{H12} = 25455 \text{ N}$$

$$T_{Ks} = \frac{M_{Ks}}{0,66} = 90260 \text{ N}$$

$$\tilde{\tau}_{Ks} = \frac{T_{Ks}}{\frac{1}{2} S_s} = \frac{90260 \cdot 2}{0,0504} = 3,58 \text{ MPa}$$

$$\tilde{\tau}_{Ts} = \frac{T_s}{S_s} = \frac{25455}{0,0504} = 0,5 \text{ MPa}$$

$$\tilde{\sigma}_{Oxs} = \frac{M_{Oxs}}{W_{Oxs}} = \frac{456601}{2,74 \cdot 10^{-3}} = 166 \text{ MPa}$$

$$\tilde{\sigma}_{Oys} = \frac{M_{Oys}}{W_{Oys}} = \frac{70449}{1,06 \cdot 10^{-2}} = 6,6 \text{ MPa}$$

$$\tilde{\sigma}_{Ns} = \frac{N_s}{S_s} = \frac{166408}{0,0504} = 3,3 \text{ MPa}$$

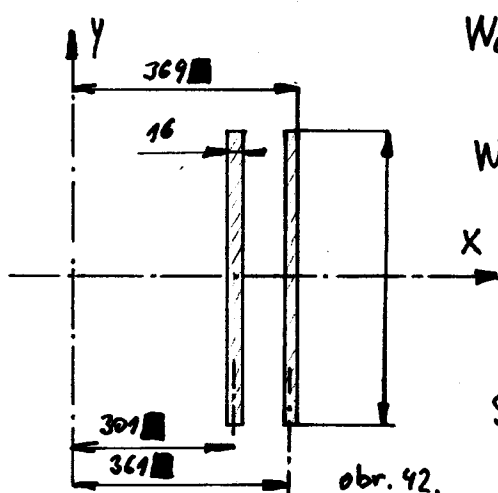
$$\begin{aligned} \sigma_{ekvS} &= \sqrt{(\sigma_{Nz} + \sigma_{MyS} + \sigma_{MzS})^2 + 3(\tau_{Kz} + \tau_{Tz})^2} = \\ &= \sqrt{(3,3 + 6,6 + 166)^2 + 3(3,58 + 0,5)^2} = 176 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Pro materiál stojiny /ocel 11 373 / výpočet vyhovuje.

5.5.3. Kontrola svarů

Svar stojiny s nosníky posuvu:

obr. 42 - zjednodušený tvar svaru



$$W_{0x} = 4 \frac{2}{0,8} \cdot \frac{1}{12} \cdot 0,016 \cdot 0,8^3 = 6,82 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} W_{0y} &= \frac{2}{0,369} \cdot 2 \left[\frac{2}{12} \cdot 0,8 \cdot 0,016^3 + 0,8 \cdot 0,016 (0,369^2 + 0,301^2) \right] \\ &= 0,0306 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$S = 4 \cdot 0,8 \cdot 0,016 = 0,0512 \text{ m}^2$$

Pro zjednodušení je dále počítáno se zatížením jako v bodě B, který je v bezprostřední blízkosti osy X svaru a pro nějž jsou již vypočteny zatěžovací veličiny v kapitole 5.1.1. / str. 40, 41 /

$$M_{0x} = M_{0Bx} = 417\,386 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$M_{Kz} = M_{0By} = 59\,572 \text{ N}\cdot\text{m} \Rightarrow T_{Kz} = \frac{M_{Kz}}{0,59} = 1 \cdot 10^5 \text{ N}$$

$$M_{0y} = M_{Kz} = 70\,449 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$T = R_{Kz} - R_{Kz} = 28\,010 - 2\,554 = 25\,456 \text{ N}$$

$$\bar{\tau}_{Lx} = \frac{M_{Lx}}{W_{Lx}} = \frac{419\,386}{6,82 \cdot 10^{-3}} = 66,7 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau}_{Ly} = \frac{M_{Ly}}{W_{Ly}} = \frac{20\,449}{0,0306} = 2,3 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau}_{Lk} = \frac{T_k}{S_k} = \frac{10^5 \cdot 2}{0,0542} = 3,9 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau}_{HT} = \frac{T}{S} = \frac{25456}{0,0542} = 0,5 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau}_s = \sqrt{\left(\frac{\bar{\tau}_{Lx} + \bar{\tau}_{Ly}}{0,95}\right)^2 + \left(\frac{\bar{\tau}_{Lk} + \bar{\tau}_{HT}}{0,65}\right)^2} = 92,2 \text{ MPa}$$

Zde jsou svařeny různé oceli : 13 220 a 11 373.
Vypočtené napětí vyhovuje.

5.6. Kontrola hydromotorů pro pojezdy.

Maximální tlak hydraulické kapaliny dodávané hydrogenerátorem vozíku je 16 MPa.

Volím hydromotor REXROTH CD 210 B 63 / 28 - 400

ϕ pístu... 63 mm

ϕ pístnice... 28 mm

$$S = \pi \cdot \frac{0,063^2 - 0,028^2}{4} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$F = p \cdot S = 16 \cdot 10^6 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} = 40\,023 \text{ N}$$

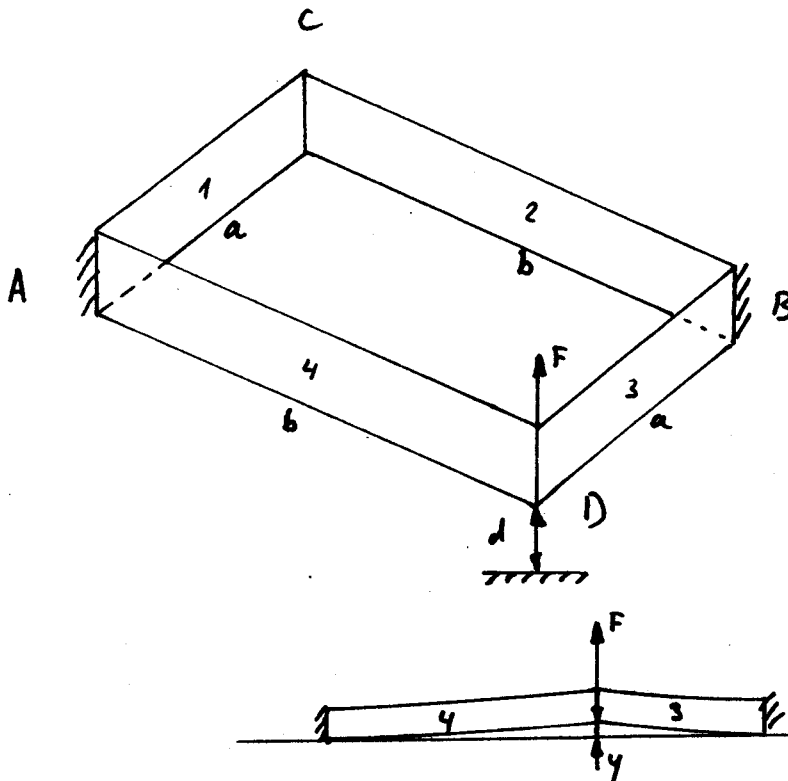
Při působení tlaku kapaliny na menší plochu /mezikruží/
je HM schopen vyvodit sílu 40023 N , je vyhovující /vypočtená maximální síla na HM je 25456 N

5.7. Statická neurčitost

V předchozích pevnostních výpočtech se prováděla kontrola nosníků pouze od zatěžujících sil. Každý rám je však uchyten na 4 místech, k němu další rám opět na 4 místech. Uchytení rámu je staticky neurčité. Předchozí výpočty předpokládaly absolutně přesnou výrobu dílů. Rámy se pod zatížením určitým způsobem deformují, ale jisté napětí vzniká již při kompletaci zařízení: /nestojně dlouhá lana závěsu, vedení pojezdu má úchytku rovnoběžnosti, atd./ Podle zkušenosti pracovníků TRANSPORTY bude toto přídatné namáhání malé, neboť konstrukce je poddajná a přesnost výroby poměrně velká.

Přesto jsem se tímto problémem zabýval a výsledky aplikoval na závěsný rám.

Hledal jsem odpověď na otázku: Jaké bude vznikat napětí v rámu, když jeden jeho roh vychýlím o vzdálenost d od roviny, kterou tvoří ostatní 3 rohy rámu. Viz obr. 43. /Předpokládám, že původně byly všechny rohy v jedné rovině. Nosníky rámu budou namáhány na ohyb a na krut. Nejprve budu uvažovat pouze ohyb - předpokládám, že nosníky jsou absolutně torzně tuhé:



obr. 43.

V místech A a B lze uvažovat jako by byly nosníky volně
knyty. /svírají pravý úhel a jsou torzně tuhé./

Parametry nosníků 1 a 3 : délka a , moment průřezu J_1 ,
2 a 4 : délka b , moment průřezu J_2 :

$$y = \frac{F_1 a^3}{3EJ_1} = \frac{F_2 b^3}{3EJ_2} \quad ; \quad F_1 + F_2 = F$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{3EJ_1 \cdot b^3}{3EJ_2 \cdot a^3} = \frac{J_1 b^3}{J_2 a^3} \Rightarrow F_1 = F_2 \cdot \frac{J_1 b^3}{J_2 a^3}$$

$$F - F_2 = F_2 \cdot \frac{J_1 b^3}{J_2 a^3}$$

$$F = F_2 \cdot \frac{J_1 b^3}{J_2 a^3} + F_2$$

$$F = F_2 \left(1 + \frac{J_1 b^3}{J_2 a^3} \right) \Rightarrow F_2 = \frac{F}{1 + \frac{J_1 b^3}{J_2 a^3}}$$

Pro nosníky 3 a 4 - totéž

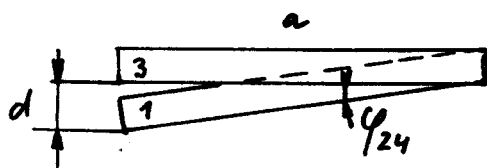
Nás zajímá úchylka jednoho bodu od roviny tvořené třemi
zbývajícími... $d = 2y$

$$y = F_2 \frac{b^3}{3EJ_2} = \frac{F}{1 + \frac{J_1 b^3}{J_2 a^3}} \cdot \frac{b^3}{3EJ_2} = \frac{F b^3}{3E \left(J_2 + J_1 \frac{b^3}{a^3} \right)}$$

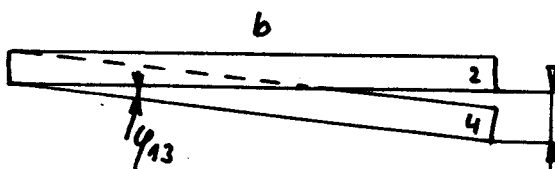
$$d = 2y = \frac{2 F b^3}{3 E \left(J_2 + J_1 \frac{b^3}{a^3} \right)} \quad ;$$

tuhost:
$k_a = \frac{3E \left(J_2 + J_1 \frac{b^3}{a^3} \right)}{2 b^3}$

Nyní uvažují naopak pouze poddajnost torzní, dokonalou tuhost ohybovou.



$$d = \varphi_{24} \cdot a \quad (\varphi [\text{rad}])$$



$$d = \varphi_{13} \cdot b$$

obr. 44.

$$\varphi = \frac{M_k \cdot l}{G J_p}$$

$$d = \varphi_{24} \cdot a = \varphi_{13} \cdot b = \frac{M_{k24} \cdot b}{G J_{p24}} \cdot a = \frac{M_{k13} \cdot a}{G J_{p13}} \cdot b$$

$$M_{k24} = F_{24} \cdot a ; \quad M_{k13} = F_{13} \cdot b ; \quad F_{13} + F_{24} = F$$

Po dosažení:

$$\frac{F_{24} \cdot a \cdot b}{G J_{p24}} \cdot a = \frac{F_{13} \cdot b \cdot a}{G J_{p13}} \cdot b$$

$$\frac{F_{24} \cdot a}{J_{p24}} = \frac{F_{13} \cdot b}{J_{p13}} \Rightarrow F_{24} = F_{13} \cdot \frac{b}{a} \cdot \frac{J_{p24}}{J_{p13}}$$

$$F_{24} = F - F_{13} \Rightarrow F - F_{13} = F_{13} \cdot \frac{b}{a} \cdot \frac{J_{p24}}{J_{p13}} \Rightarrow$$

$$F_{13} = \frac{F}{\frac{b}{a} \cdot \frac{J_{p24}}{J_{p13}} + 1}$$

$$d = F_{13} \cdot \frac{b \cdot a}{G J_{p13}} \cdot b = \frac{F}{\frac{b}{a} \cdot \frac{J_{p24}}{J_{p13}} + 1} \cdot \frac{b^2 a}{G J_{p13}} =$$

Nakrucování nosníků 1 a 3 / 2 a 4/ charakterizuje polární moment J_{P13} / J_{P24} / Protože v každé dvojici jsou nosníky stejné, jsou také stejně nakrucované /souladnost/ lze napsat $J_{P1} = J_{P3} = 1/2 J_{P13}$, podobně pro druhou dvojici.

$$d = \frac{F \cdot b^2 a}{G [J_{P24} \cdot \frac{b}{a} + J_{P13}]} = \frac{b^2 a \cdot F}{2G [J_{P2} \frac{b}{a} + J_{P1}]}$$

tuhost

$$k_b = \frac{2G [J_{P2} \frac{b}{a} + J_{P1}]}{b^2 a}$$

Konkrétně pro závěsný rám:

$$\begin{array}{ll} 1, 3 & a = 2\text{m} \quad J_1 = 8270 \cdot 10^{-8} \text{m}^4 \quad J_{P1} = 456 \cdot 10^{-8} \text{m}^4 \\ 2, 4 & b = 2,09\text{m} \quad J_2 = 1910 \cdot 10^{-8} \text{m}^4 \quad J_{P2} = 8,59 \cdot 10^{-8} \text{m}^4 \end{array}$$

$$E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$$

$$G = 0,83 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$$

$$k_a = \frac{3 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \left(1910 \cdot 10^{-8} + \frac{2,09^3}{23} \cdot 8270 \cdot 10^{-8} \right)}{2 \cdot 2,09^3} = \underline{\underline{3,9 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}}}$$

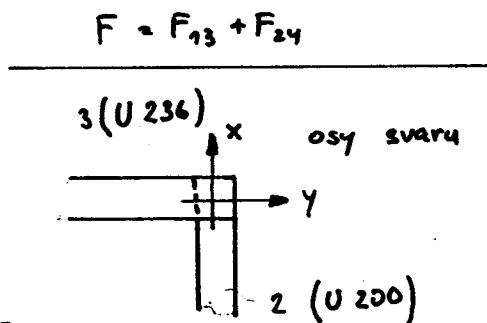
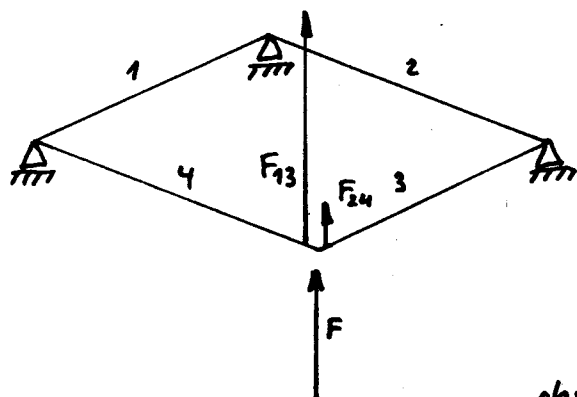
$$k_b = \frac{2 \cdot 0,83 \cdot 10^{11} \left(8,59 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{2,09}{2} + 456 \cdot 10^{-8} \right)}{2,09^2 \cdot 2} = \underline{\underline{8,83 \cdot 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}}}$$

Podle očekávání je vidět, že tuhost pro krut je podstatně nižší /více než 40 krát/ Při uvažování deformace ohybové i torzní současně lze situaci přirovnat k sériovému řazení pružin, výslednou tuhost vypočteme:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_a} + \frac{1}{k_b} \Rightarrow k = 8,64 \cdot 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

Protože je poddajnost v krutu podstatně větší, bude se i rozložení síly F řídit především podle vzorce:

$$\frac{F_{24}}{F_{13}} = \frac{b \cdot J_{p2}}{a \cdot J_{p1}} = \frac{2,09 \cdot 8,59 \cdot 10^{-8}}{2 \cdot 456 \cdot 10^{-8}} \approx 0,02$$



obr. 45.

Předpokládám, že při přídavném namáhání bude slabina rámu svar. Protože ve svaru je již od zatížení napětí 125 MPa /viz kap. 5.3./, můžeme si pro materiál 11 373 s výpočtovou pevností 210 MPa dovolit přídavné zatěžování např. 50 MPa.

Pro napětí ve svaru:

$$\sigma_{ox} + \sigma_{oy} = 50 \text{ MPa} \quad \frac{\sigma_{ox}}{\sigma_{oy}} = 0,02$$

$$\Rightarrow \sigma_{oy} = 48,9 \quad M_{oy} = \sigma_{oy} \cdot W_{oy} = 48,9 \cdot 10^6 \cdot 1,036 \cdot 10^{-4} = 5066 \text{ N.m}$$

$$\sigma_{ox} = 1,04 \text{ MPa} \quad M_{ox} = \sigma_{ox} \cdot W_{ox} = 1,04 \cdot 10^6 \cdot 9,12 \cdot 10^5 = 94,84 \text{ N.m}$$

Momentu $M_{oy} = 5066 \text{ N.m}$ odpovídá zátěžná síla v rohu rámu

$$F = \frac{M_{ox} \cdot 2 \left[\frac{b}{a} \frac{J_{p2}}{J_{p1}} + 1 \right]}{b} = 4943 \text{ N} \quad (M_{oy} = M_{K1})$$

Síle F odpovídá deformace d

$$d = \frac{F}{k} = \frac{4943}{8,64 \cdot 10^4} = 0,0572 \text{ m} = 57,2 \text{ mm}$$

$M_{ox} = 94,84 \text{ Nm}$ namáhá U 200 na krut, U 236 na ohyb

$M_{oy} = 5066 \text{ Nm}$ namáhá U 200 na ohyb, U 236 na krut

$$U 200: \quad \tilde{\tau} = \frac{M_{ox}}{W_k} = \frac{94,84}{7,16 \cdot 10^{-6}} = 13 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o = \frac{M_{oy}}{W_o} = \frac{5066}{191 \cdot 10^{-6}} = 26 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3\tilde{\tau}^2} = 34 \text{ MPa}$$

$$U 236: \quad \sigma_o = \frac{M_{ox}}{W_o} = \frac{94,84}{700 \cdot 10^{-6}} = 0,13 \text{ MPa}$$

$$\tilde{\tau} = \frac{M_{oy}}{W_k} = \frac{5066}{120 \cdot 10^{-6}} = 42 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ekv} = 72 \text{ MPa}$$

Max. napětí při přídavné deformaci $d = 57,2 \text{ mm}$ bude:

v nosníku U 200 : $8,4 + 24 = 32,4 \text{ MPa}$

U 236 : $239,2 + 72 = 311,2 \text{ MPa}$

Max. napětí ve svaru je již uvedených $125 + 50 = 175 \text{ MPa}$.

Přím stěže pevnostně vyhovuje. Tolerancí rozměrů lze zajistit několikanásobně menší přídavnou deformaci a tím i tomu odpovídající přídavné namáhání.

6. Závěr

Mým úkolem bylo provést konstrukční návrh zdvihacího zařízení a následně provést jeho pevnostní kontrolu. Při návrhu jsem vycházel ze starších řešení, které mi poskytl podnik TRANSPORTA Chrudim a které jsem našel v literatuře. Snažil jsem se např. zvětšit rozteč úchytů pro lana na maximum, aby se síly rozložily co možná nejrovnoměrněji. Bohužel rozteč kladek na pojezdu vpřed-vzad se nemohla navrhnout větší, protože se musela respektovat šíře vnitřního rámu zdvihacího zařízení vozíku SV 150. Proto jsou síly na tyto kladky velice nerovnoměrné. Dále jsem volil umístění táhel pro uzavírání zámků směrem dovnitř spreadru, aby mechanismus byl méně zranitelný při manipulaci. V pevnostní kontrole jsem zahrnul všechny zatěžující vlivy najednou /včetně působení větru/, stanovil zatěžující síly, prováděl uvolnění jednotlivých dílů a následnou kontrolu. Neboť se jedná o součásti uložené staticky neurčitě, nebylo vždy uvolnění dílu zcela jednoznačné /zvláště u složitějších součástích/. Z tohoto důvodu bych doporučoval provést kontrolu pomocí metody konečných prvků /např. prostřednictvím programu DEFORM 90, který používá TRANSPORTA/. Při přesném zadávání dat by výsledky výpočtu jistě přispěly k tomu, aby se navrhnula konstrukce lepší. Našla by se slabá místa, mohla by se snížit hmotnost atd. Skutečně kvalitní a přesné zadávání však vyžaduje nejen znalost výpočtového programu, ale také hodně času. Z řešení statické neurčitosti je alespoň přibližně vidět, že poddažnost rámu v krutu je poměrně velká a tolerancí rozměrů lze zajistit minimální přídavné namáhání.

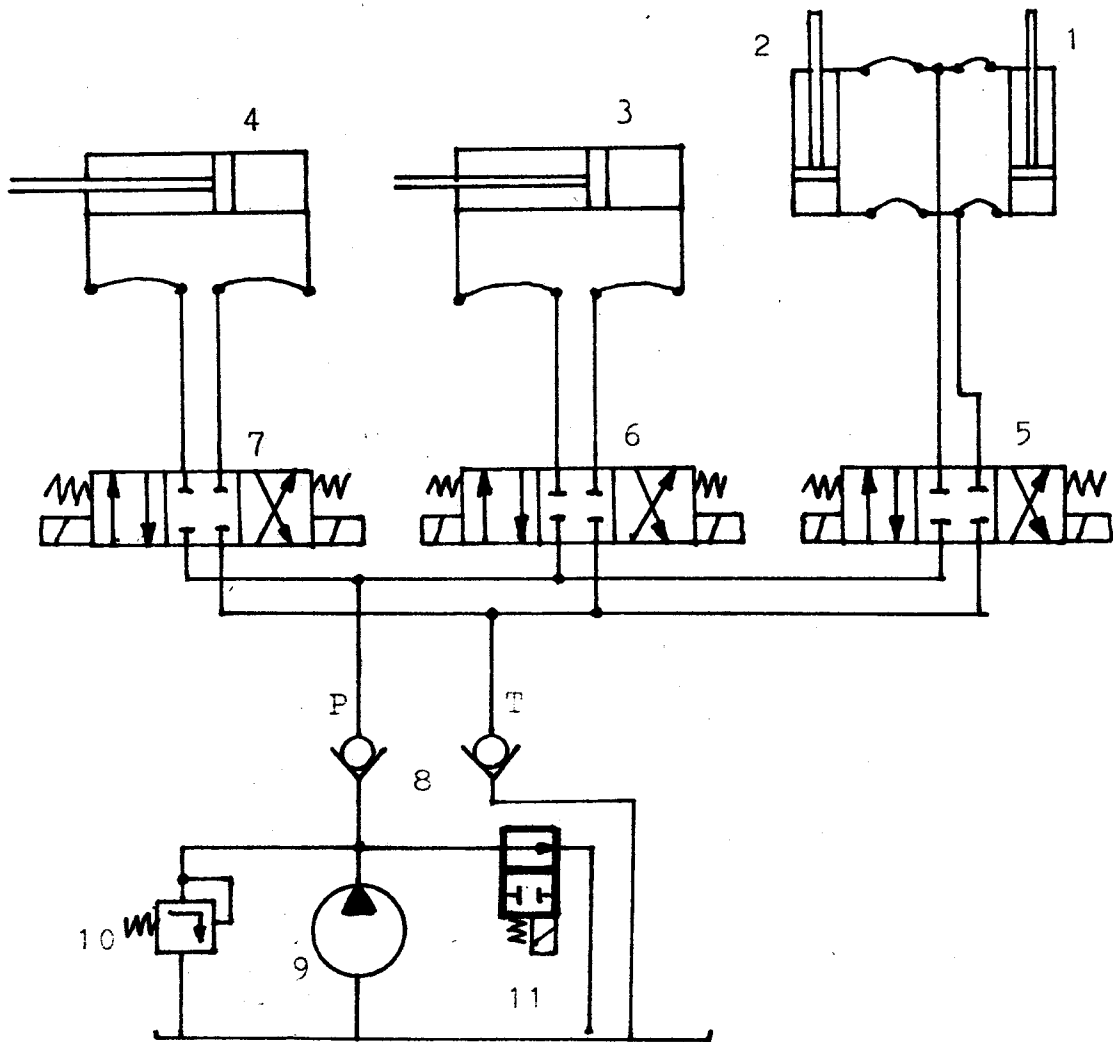
Seznam použité literatury

1. B.Stříž Pružnost a pevnost I. Liberec 1983
2. Prášil - Olehlová :Části a mechanismy strojů, Liberec1985
3. Deribas, A.T.a kol.: Kontejnerová doprava
4. P.Vávra a kol.: Strojnické tabulky, SNTL Praha 1983
5. Z.Schmidt : Technická příručka Praha 1952
6. časopis FORDERN + HEBEN 6/81
7. přednášky SPD
8. Části a mechanismy strojů
9. Pružnost a pevnost
10. normy ČSN 26 88 00
 73 14 01
 26 71 03
 26 71 04
 26 90 07
11. výkresová dokumentace TRANSPORTA Chrudim

Na tomto místě bych chtěl poděkovat všem, kteří mi v průběhu vypracování diplomové práce pomáhali.

Především vedoucímu diplomové práce ing. Miroslavu Malému, CSc a konzultantu ing. Karlu Krbálkovi, za cenné rady a připomínky během řešení.

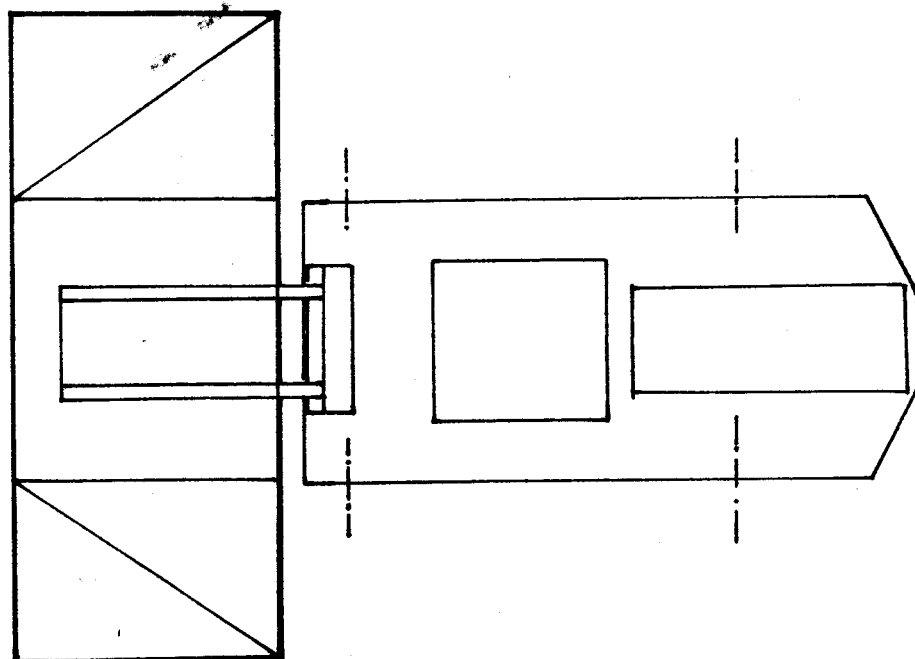
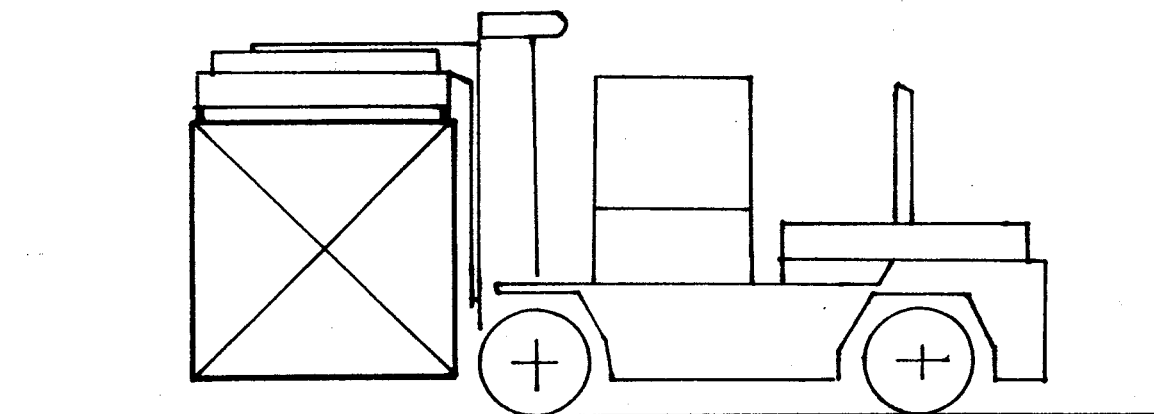
Schema hydraulické instalace



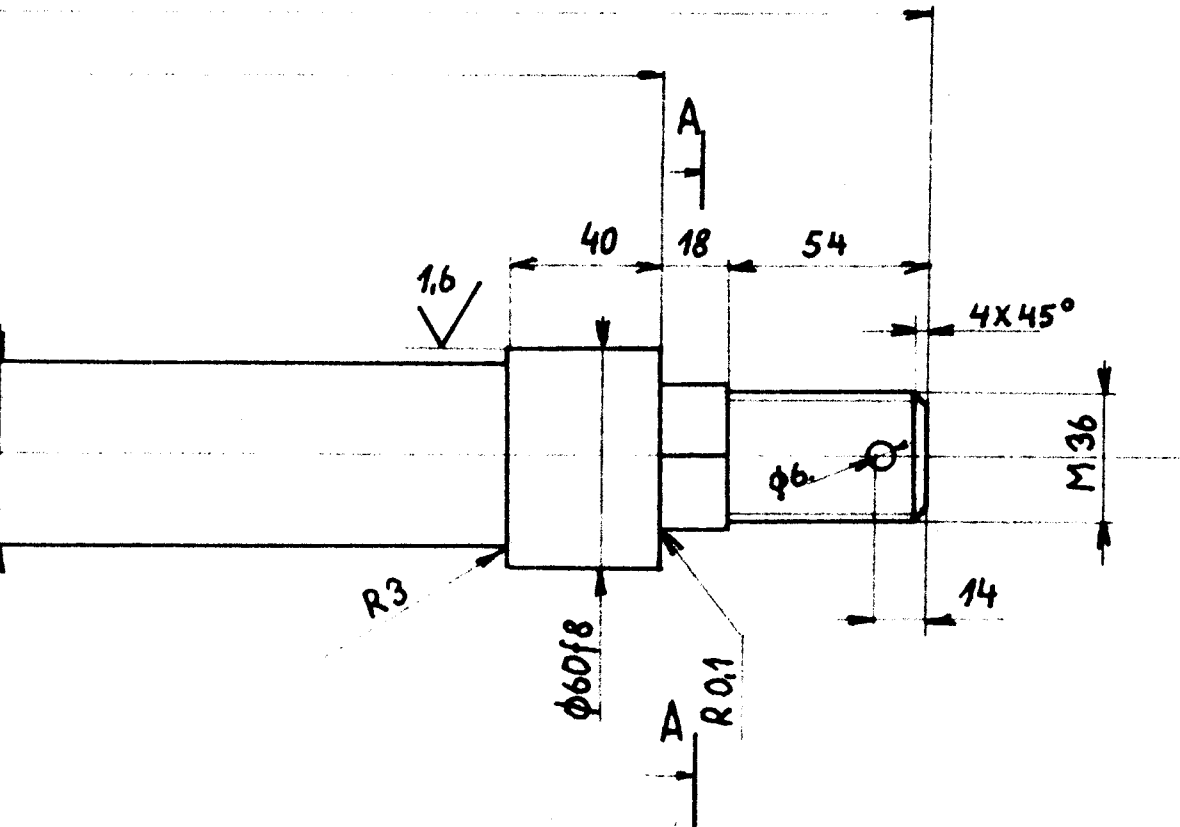
Legenda:

- 1,2.... hydromotory zámků
- 3,4.... hydromotory příčného a podélného posuvu
- 5,6,7.. elektromagneticky ovládané rozvaděče
- 8..... rychlospojky
- 9..... hydrogenerátor
- 10..... tlakový ventil
- 11..... rozvaděč /zapnut v propustném směru v případě,
že ostatní rozvaděče jsou ve stavu uzavřeném/

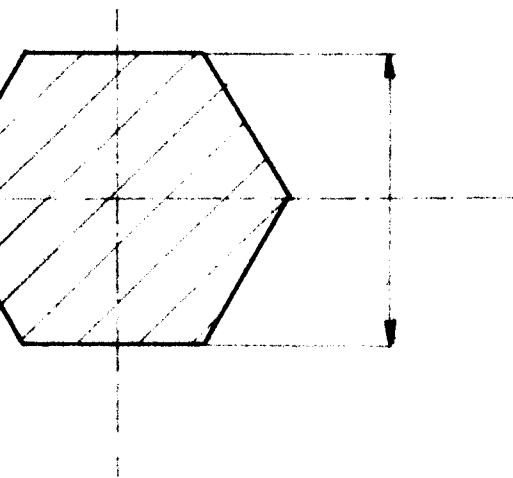
Vysokozdvížený vozík SV 150 s kontejnerem



6.3 / / /



A-A M 1:1



11500

B. ŠILHAN

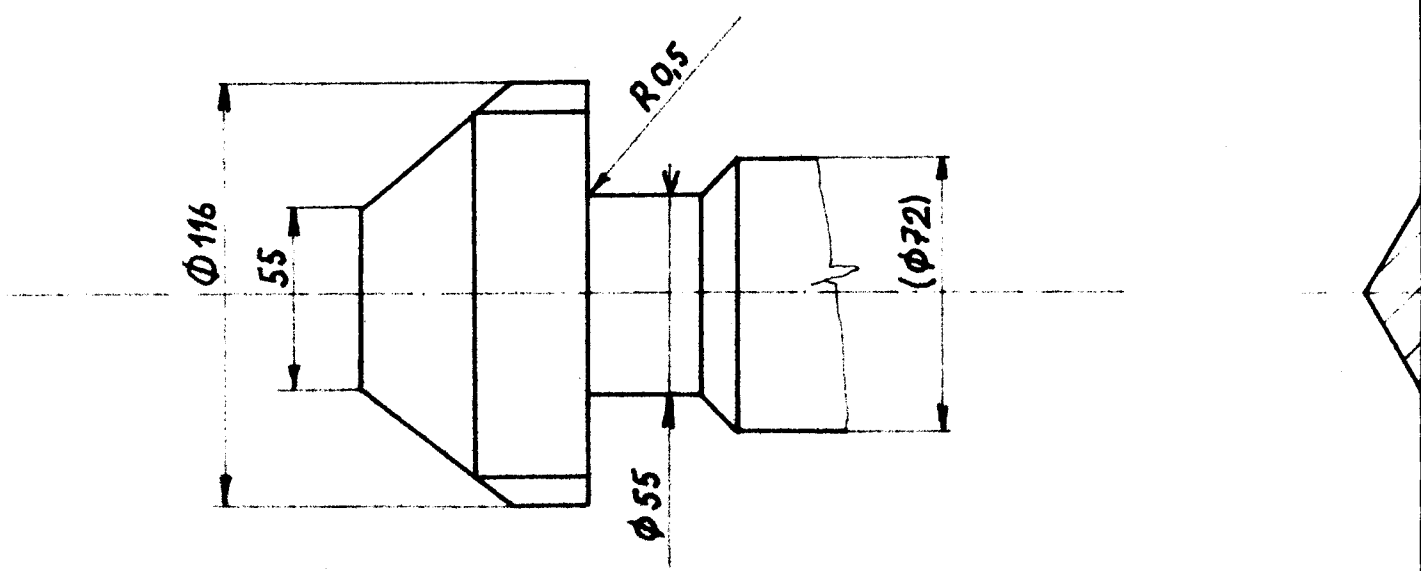
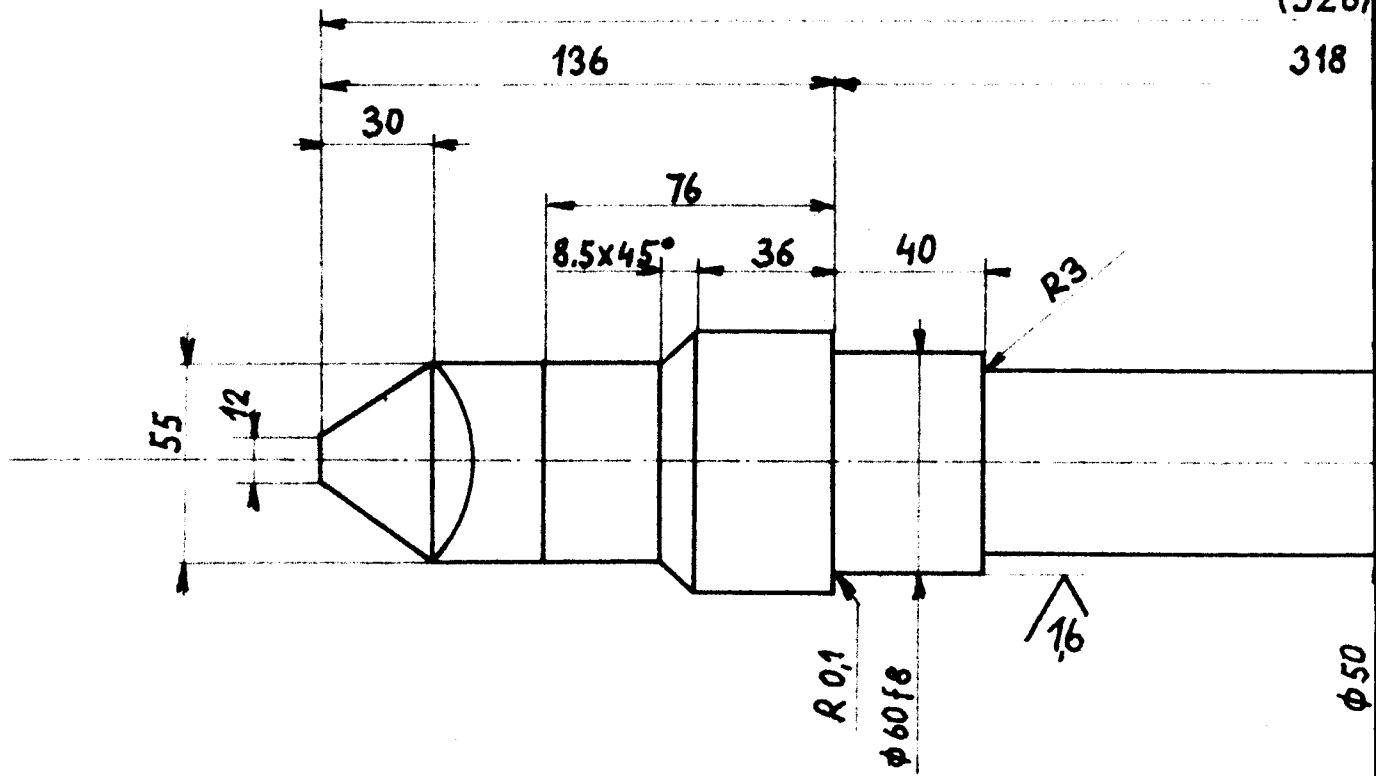
1:2

ČEP ZÁMKU

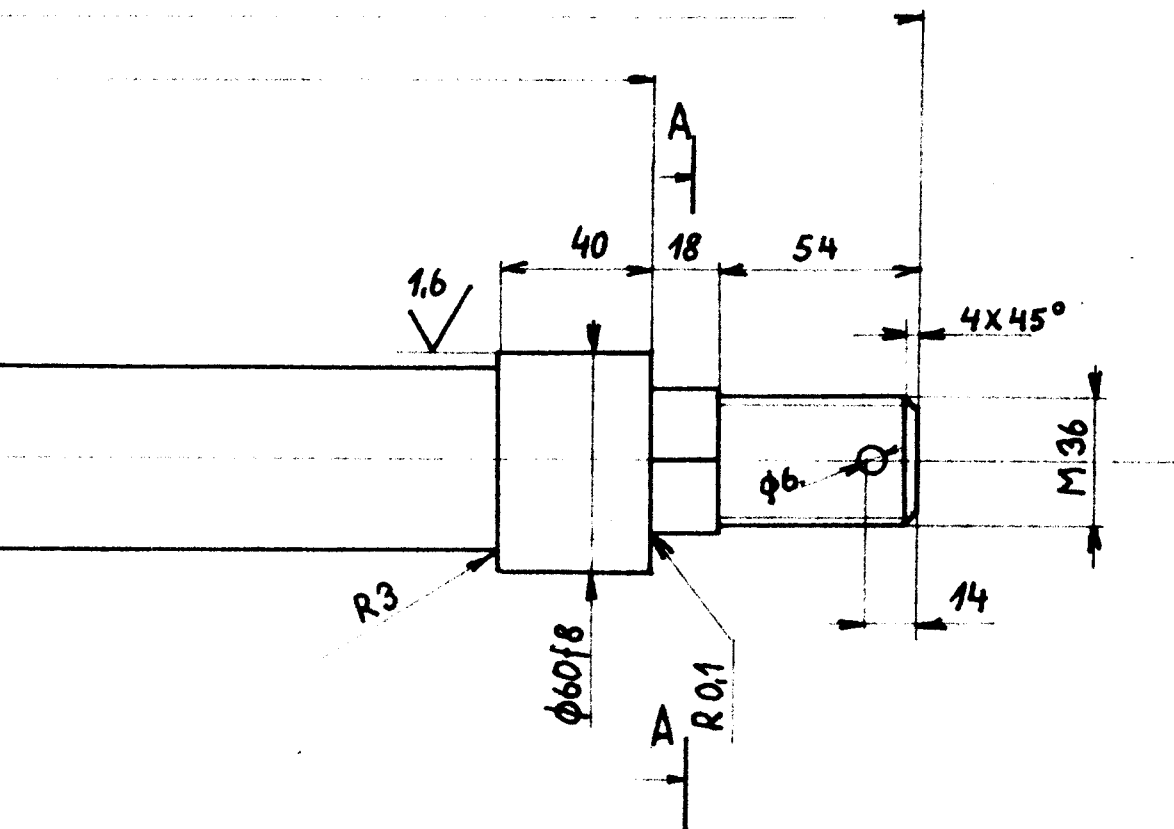
KSD-253-02-01

(526)

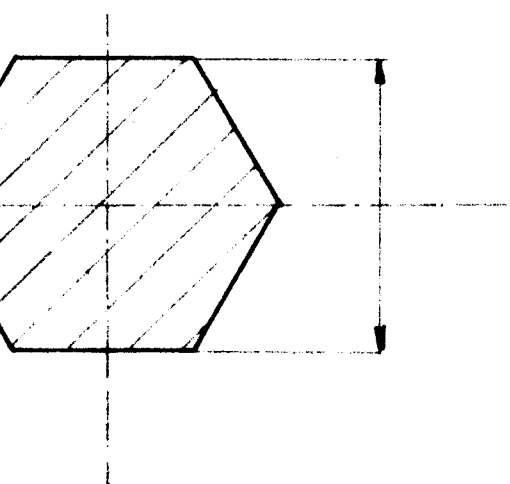
318



6.3 / / /



A-A M 1:1



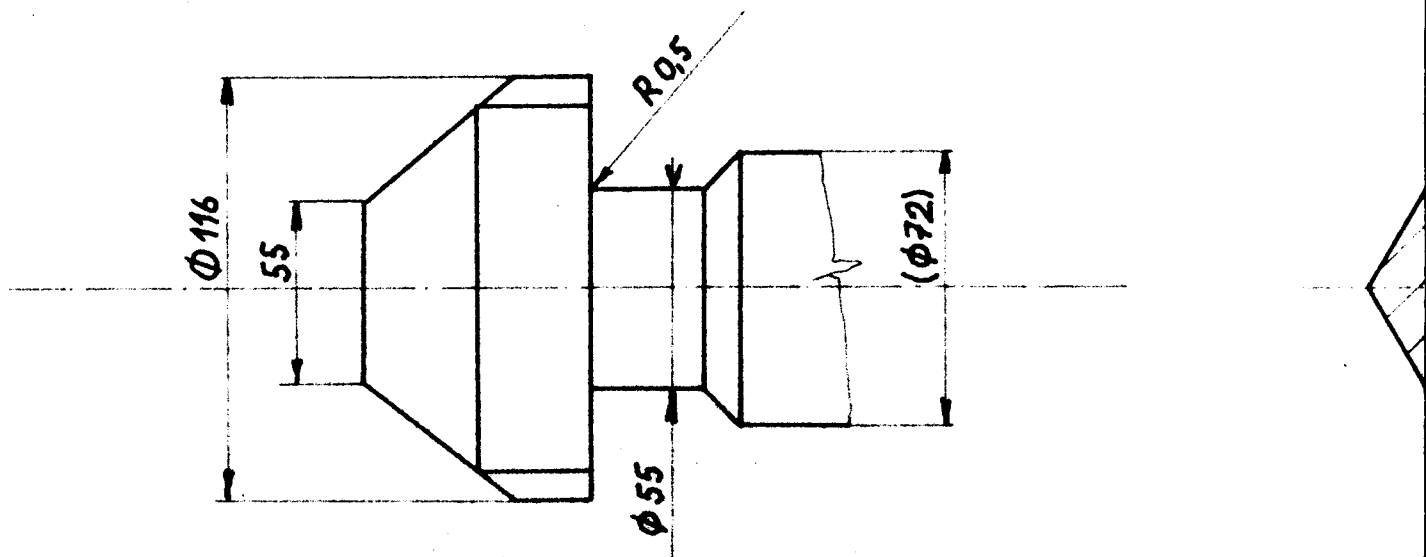
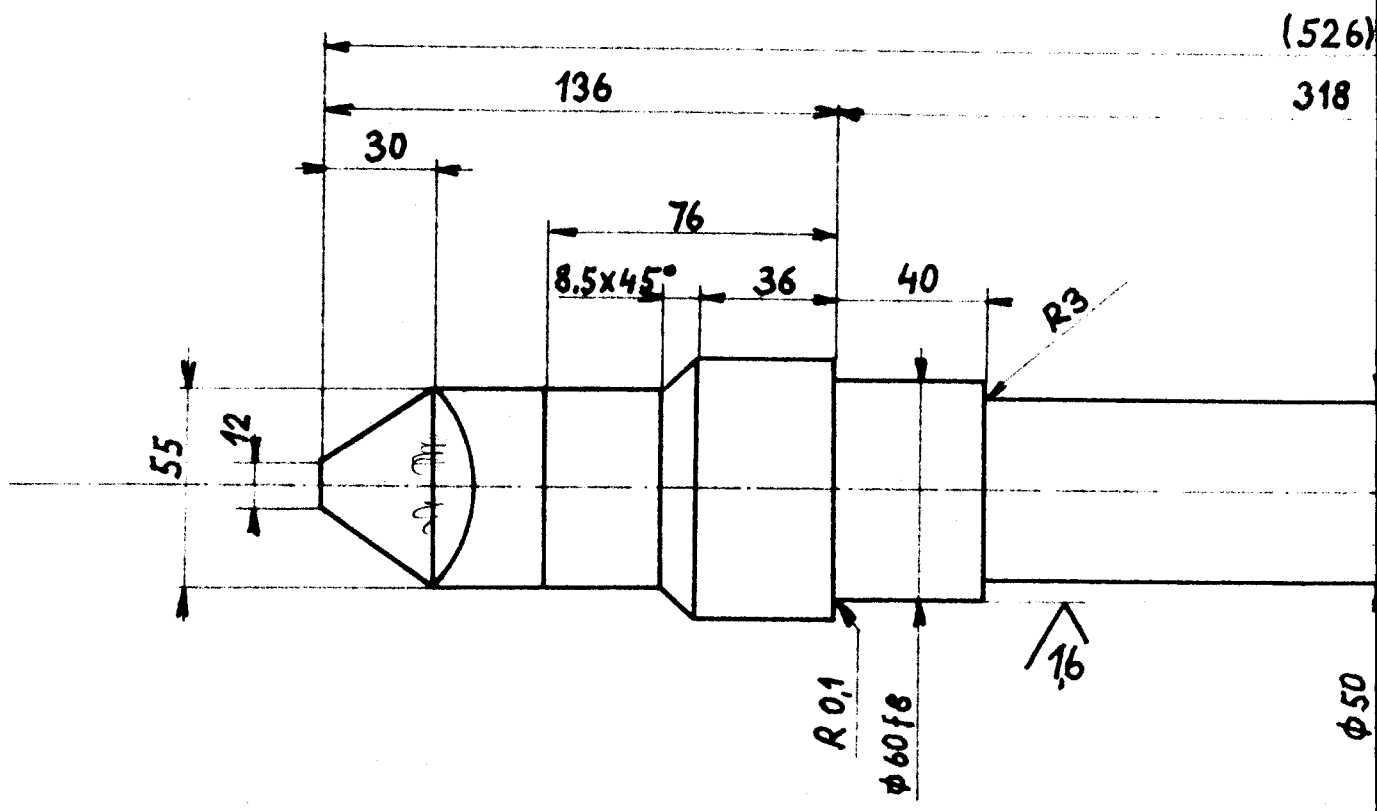
11 500

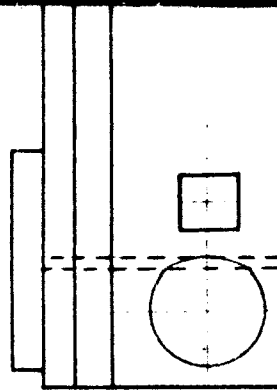
B. ŠILHÁN

1:2

ČEP ZÁMKU

KSD-253-02-01





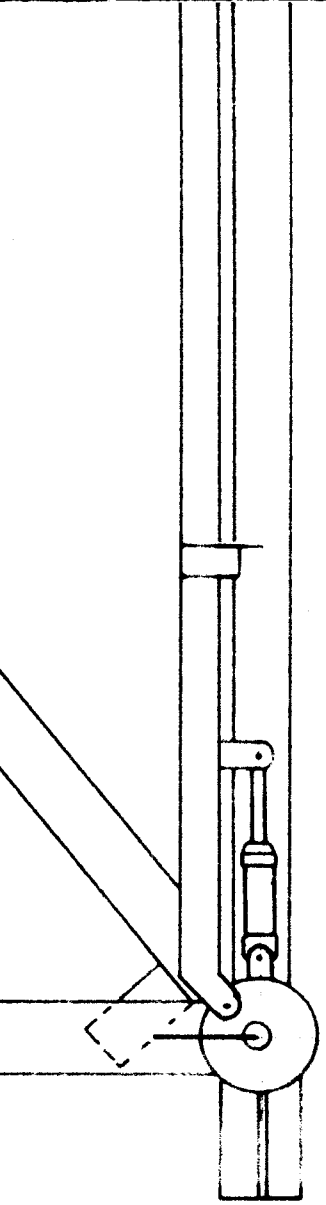
6	ZÁVĚSNÉ LANO $\phi 22,4$			4	
5	HYDROMOTOR 63/28	REXROTH		2	
4	ZDVIHACÍ RÁM	KSD2530104		1	
3	RÁM S KLADKAMI	KSD253.01.03		1	
2	ZÁVĚSNÝ RÁM	KSD253.01.02		1	
1	SPREADER	KSD253.01.01		1	
POZ	NÁZEV - ROZMĚR	VÝKR.-NORM	MAT.	J	M. HM

1:10

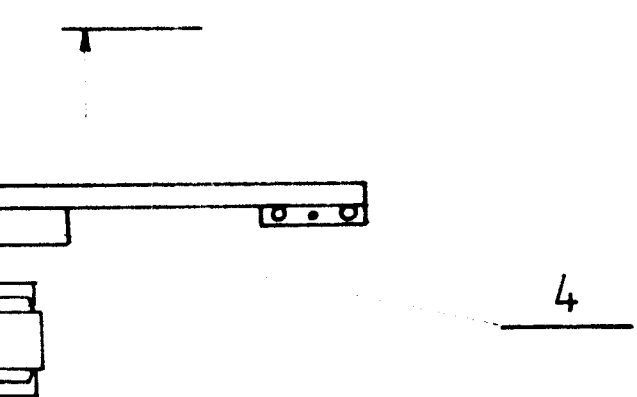
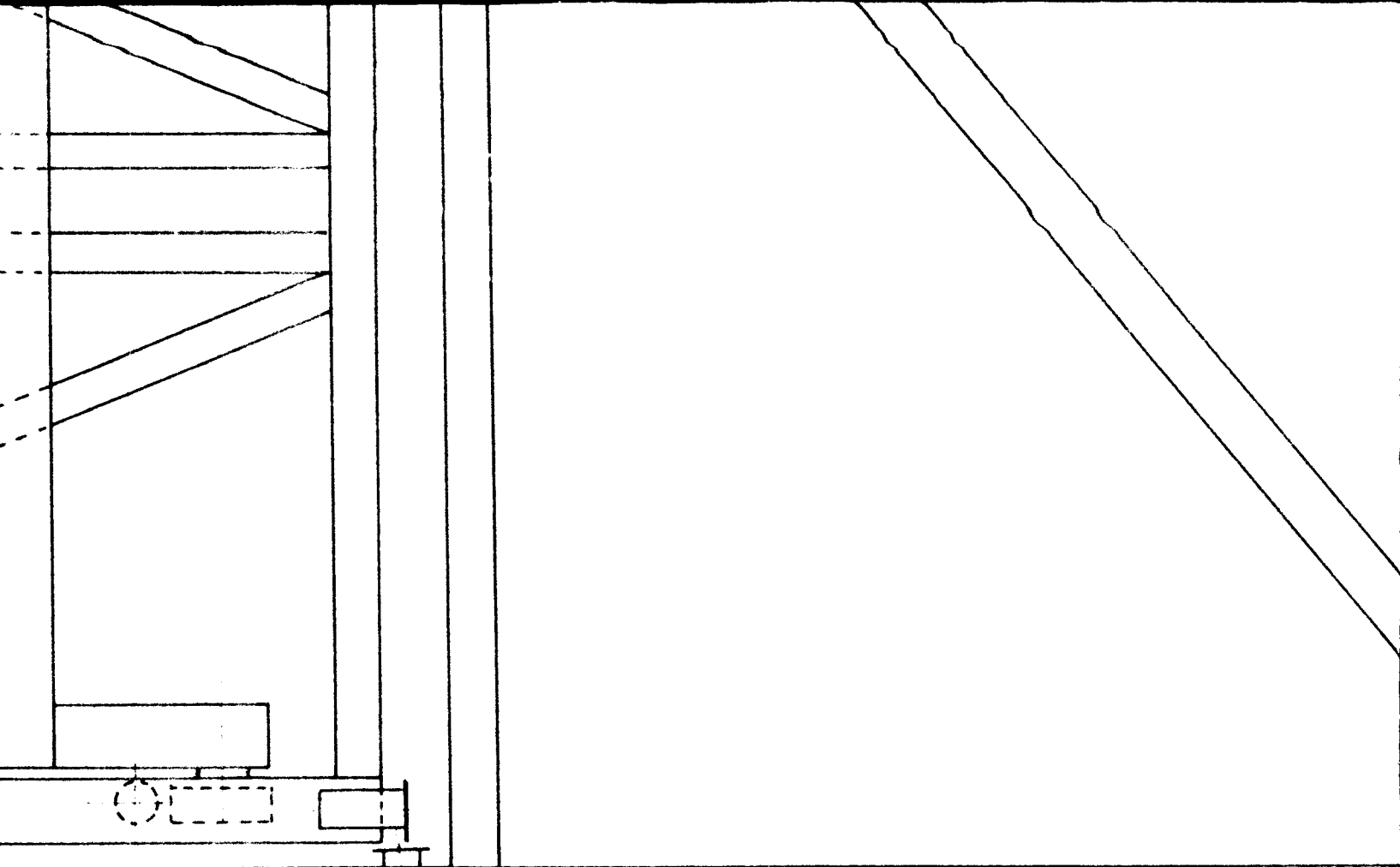
Č. DOK. 111

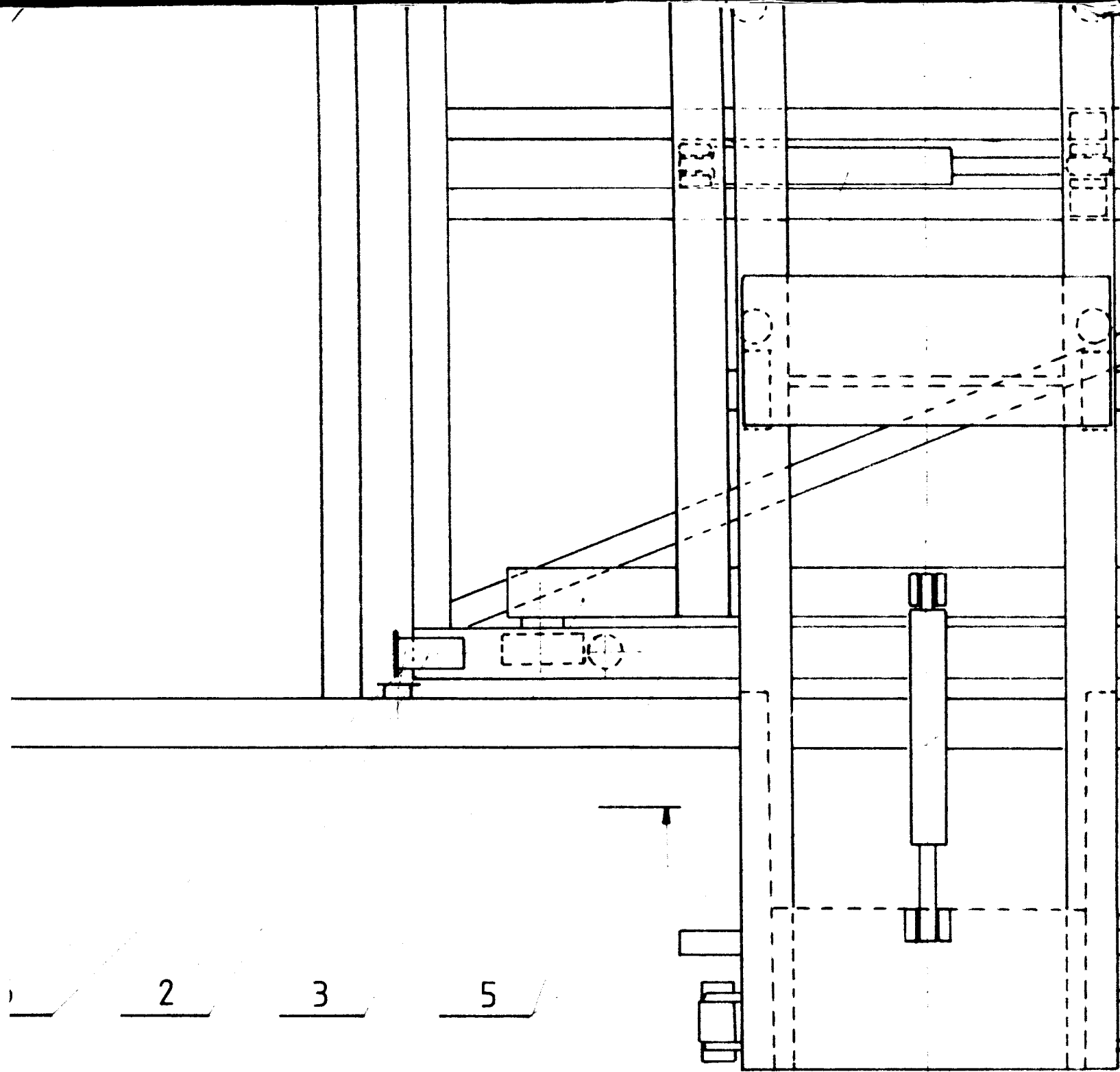
ZDVIHACÍ ZAŘÍZENÍ

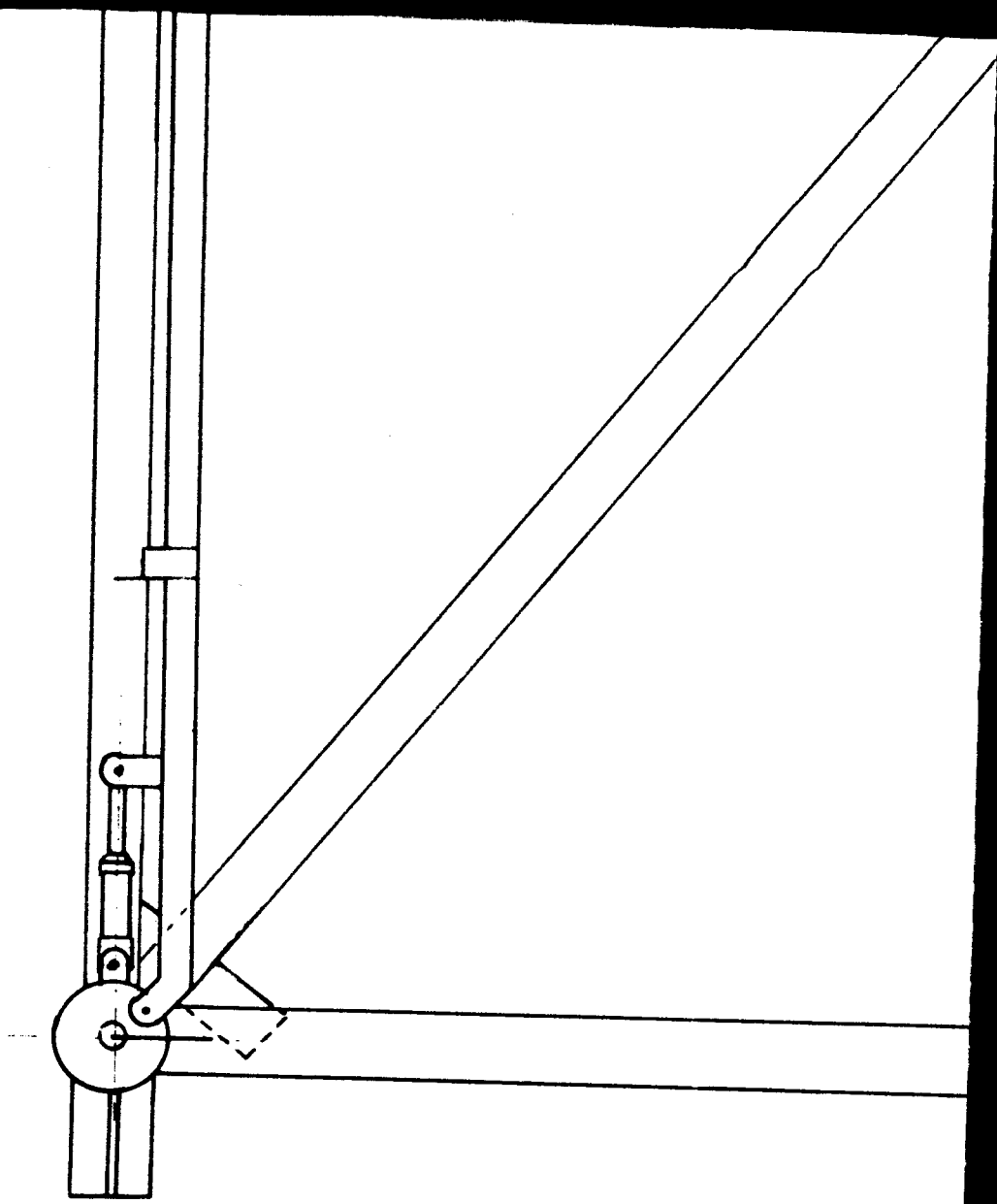
KSD - 253 - 01 - 00

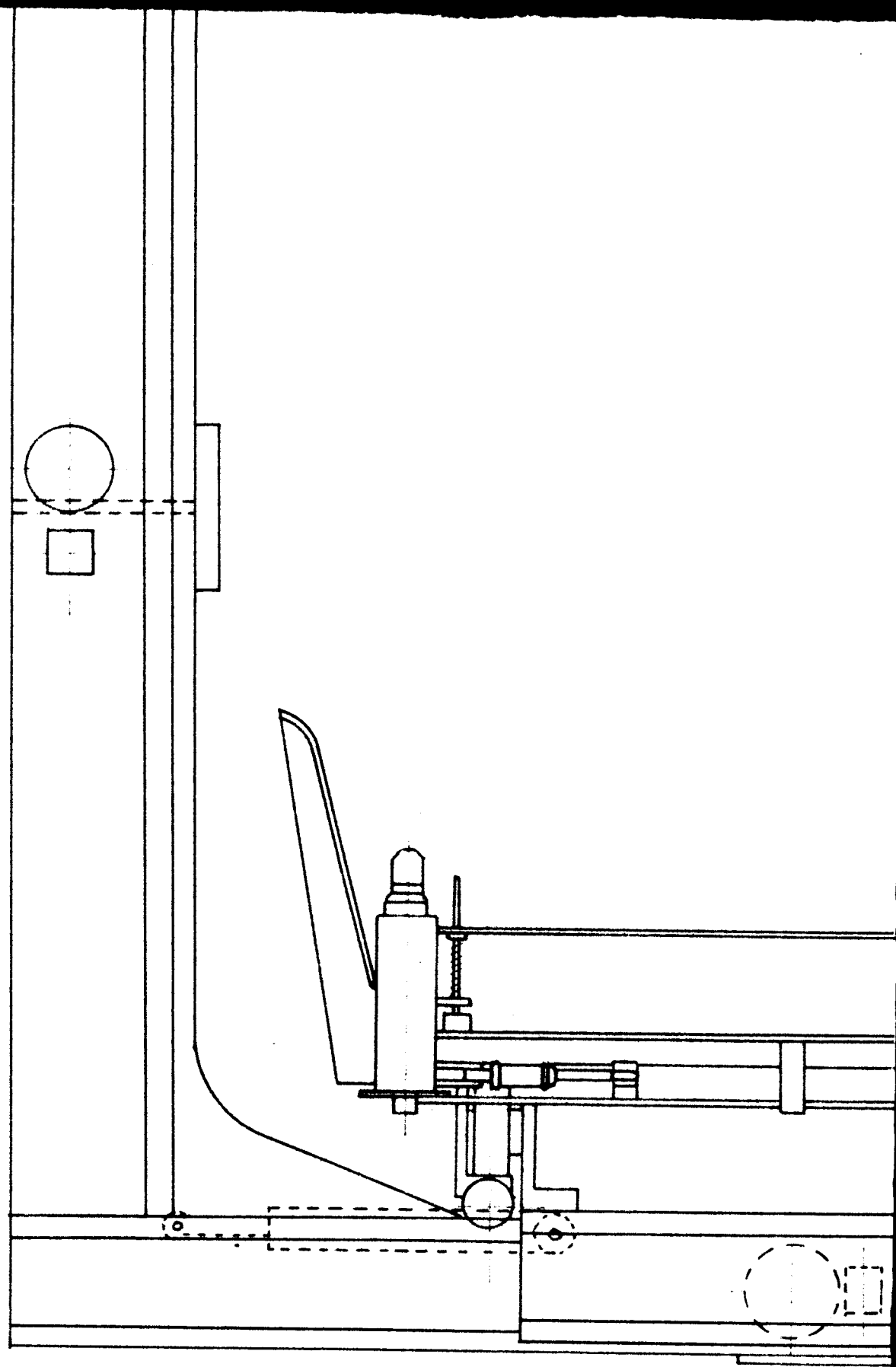


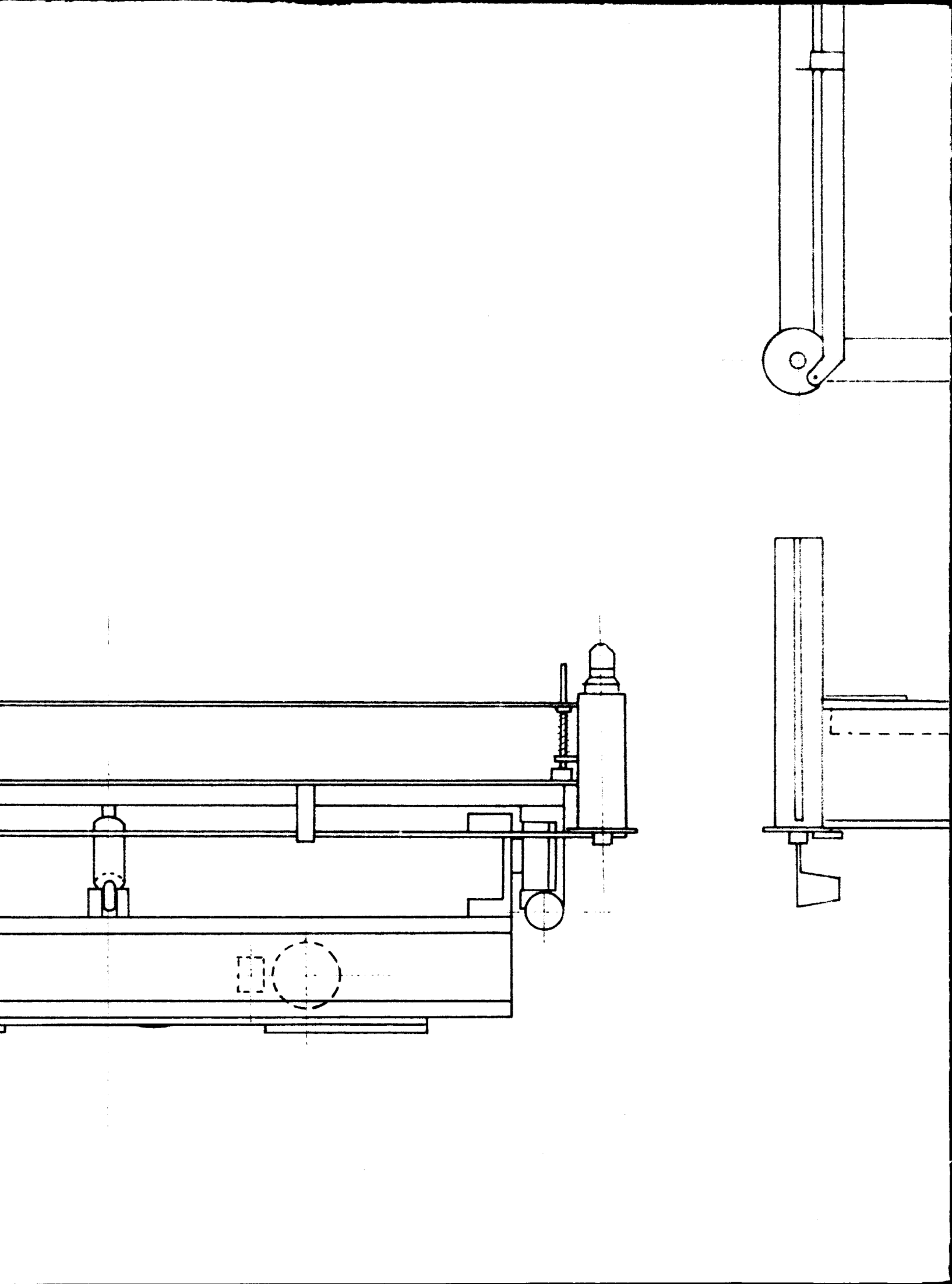
1

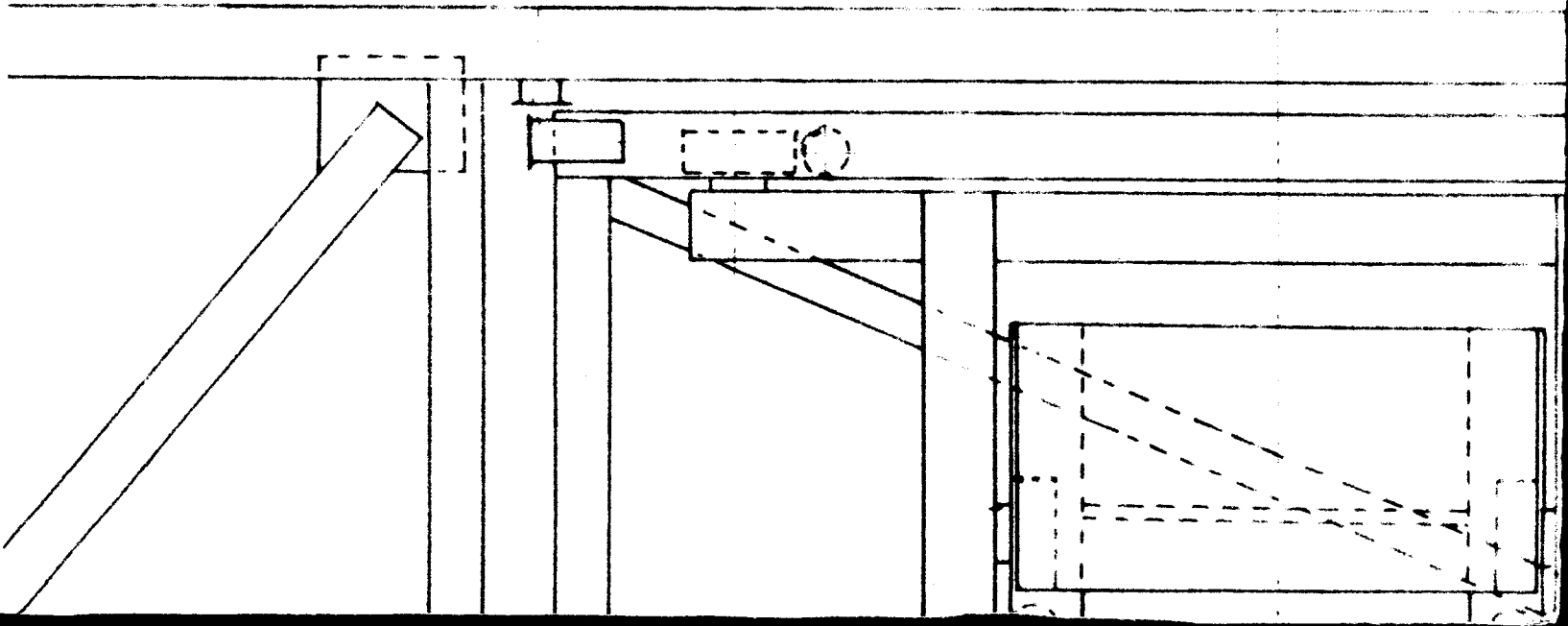
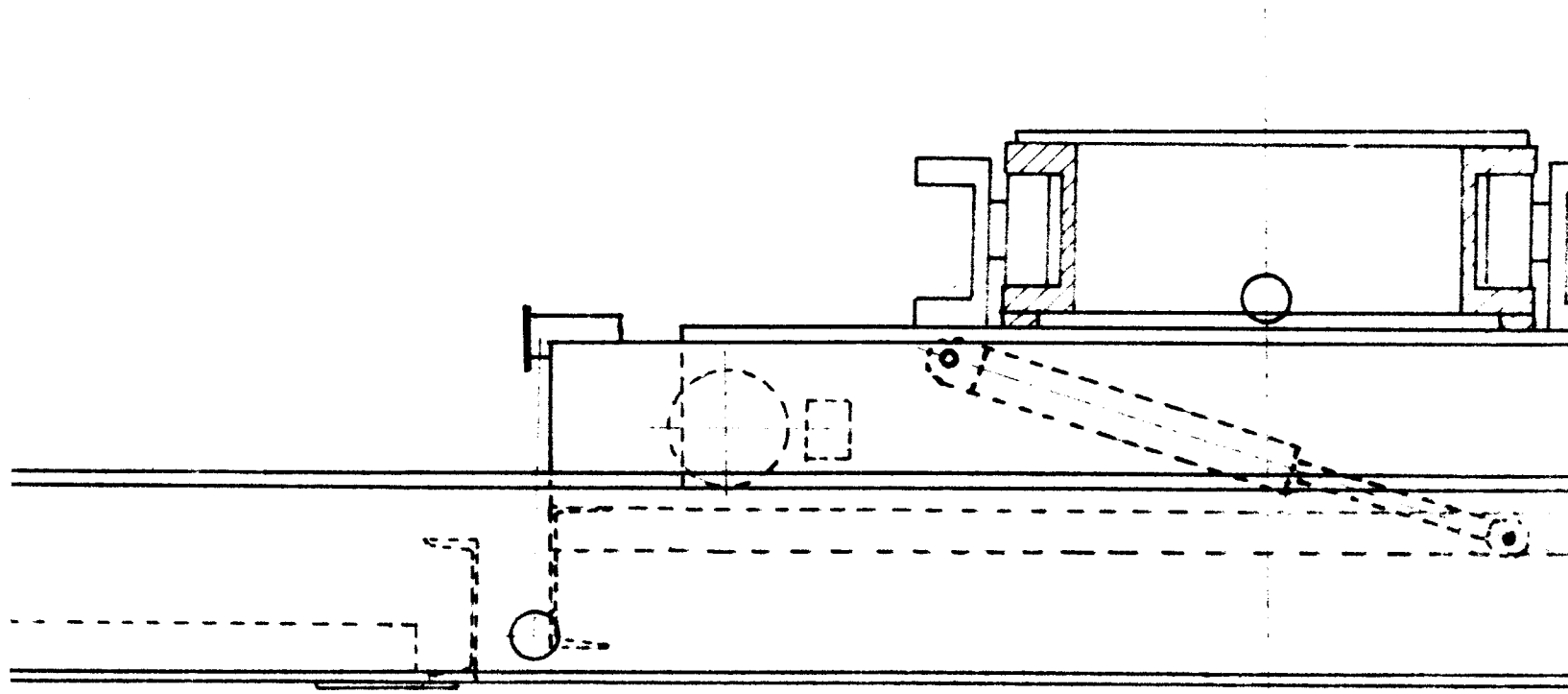


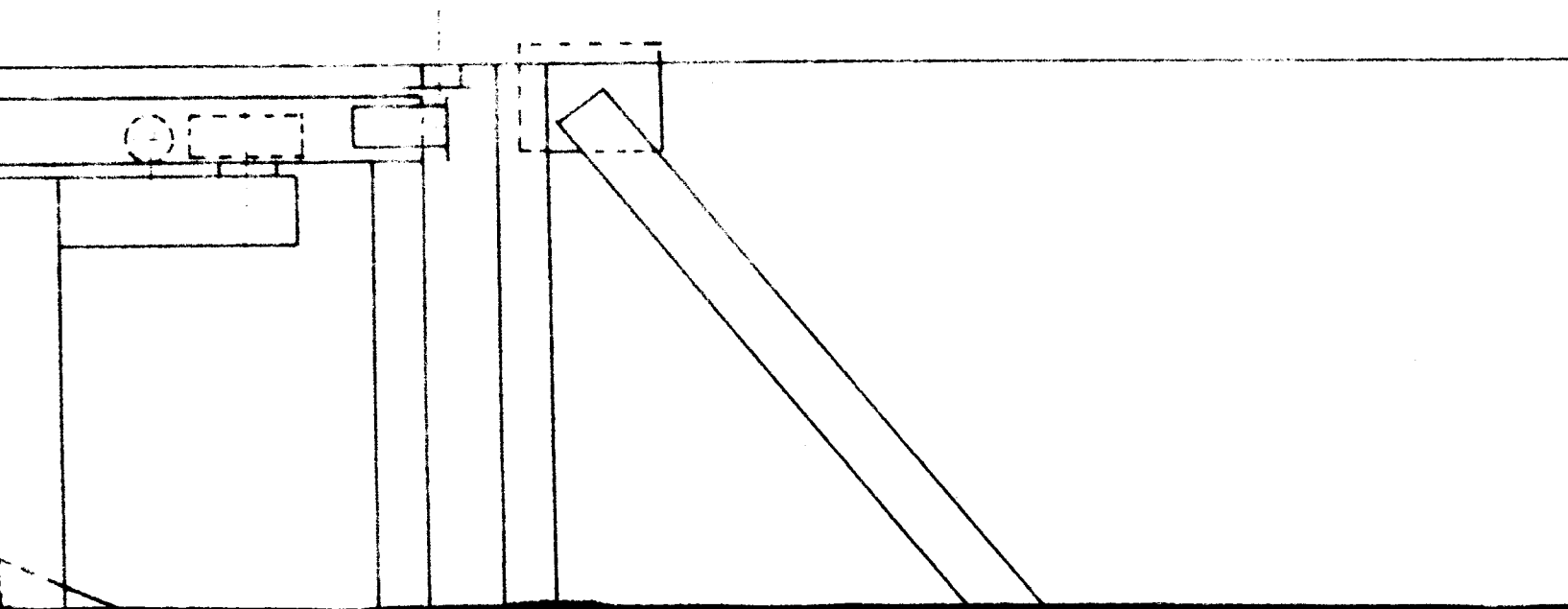
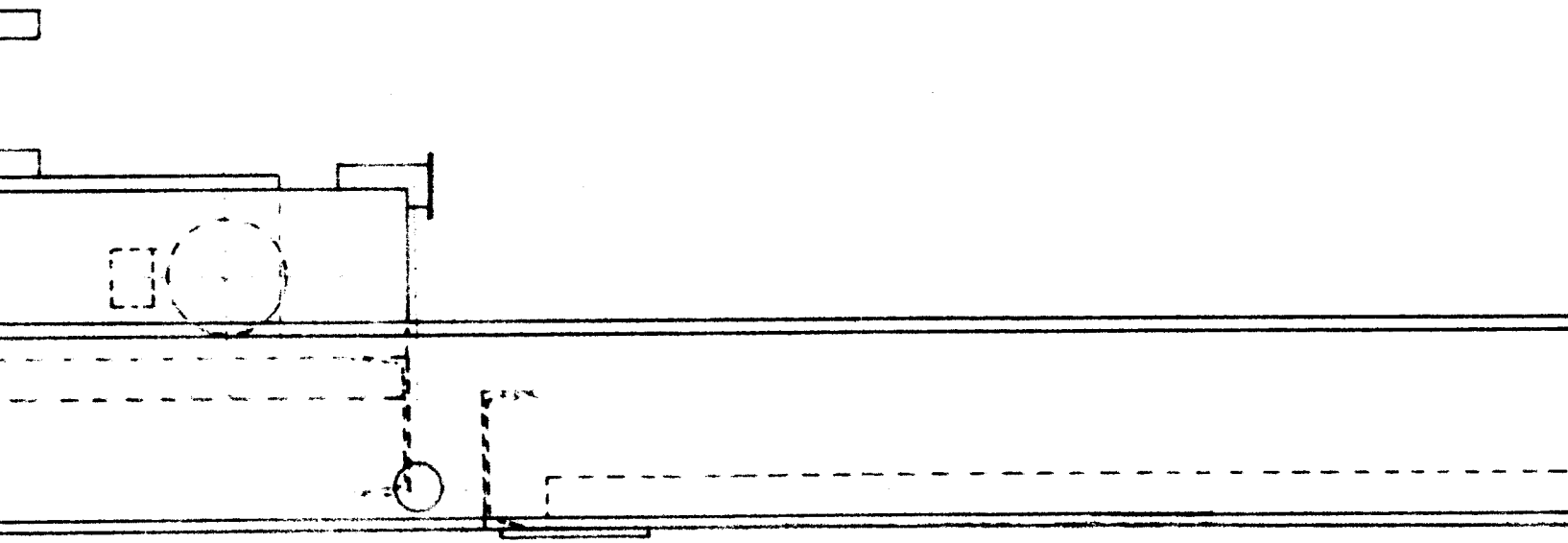


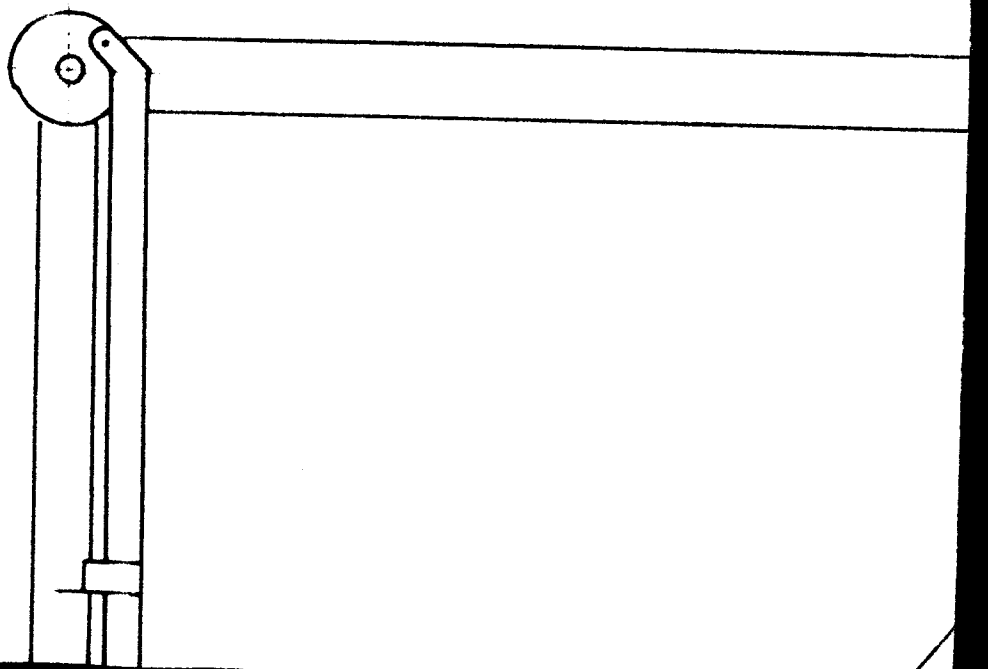
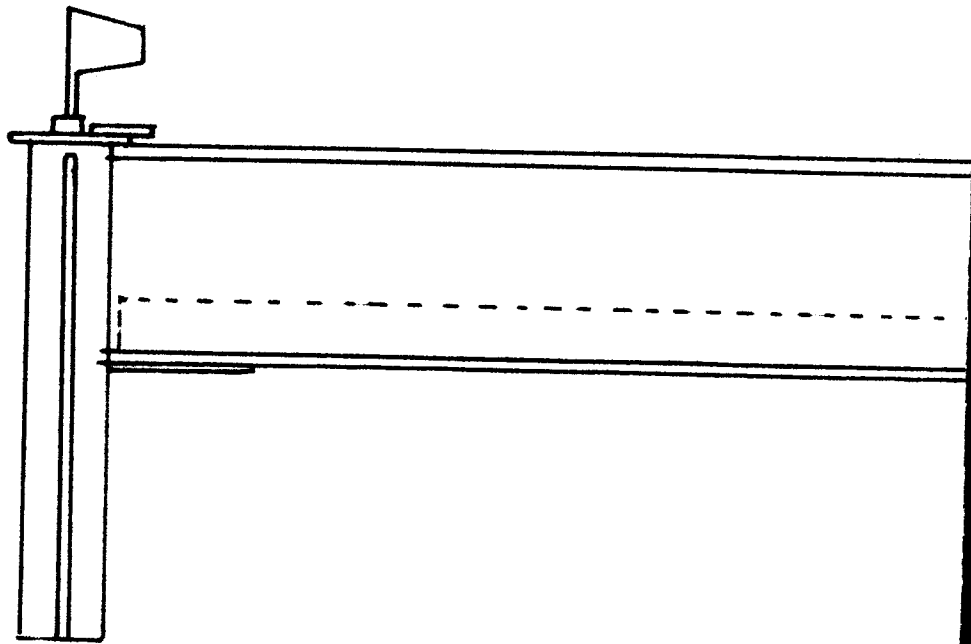




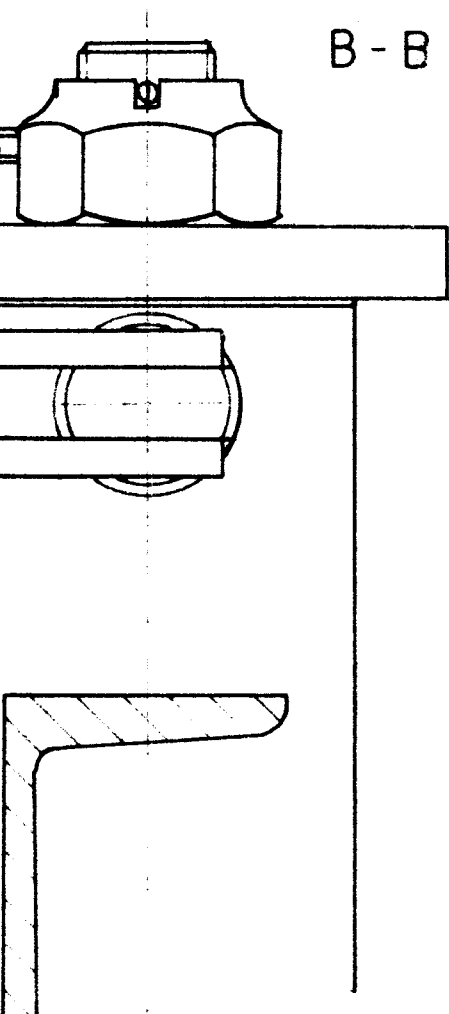




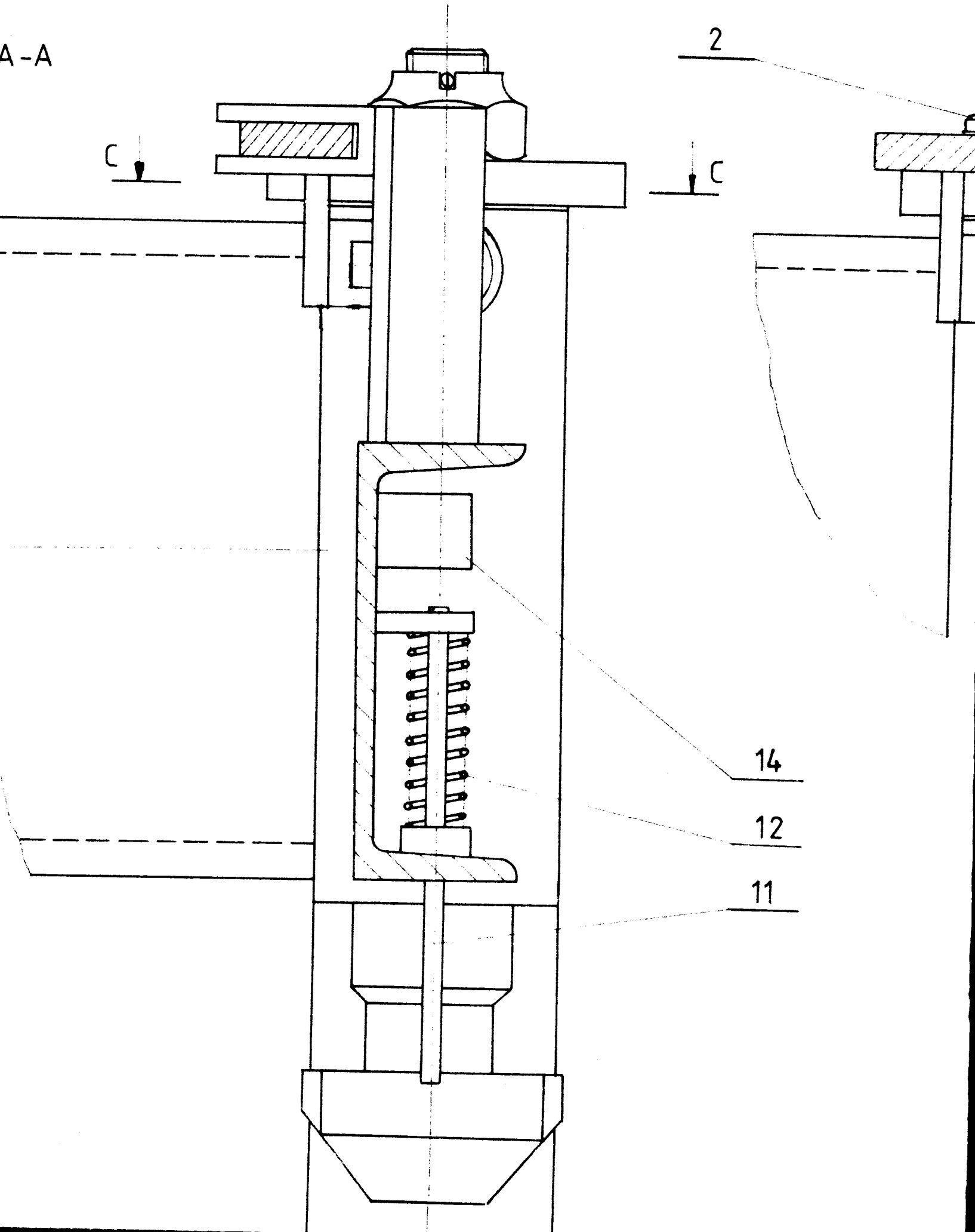




B - B



A-A



2

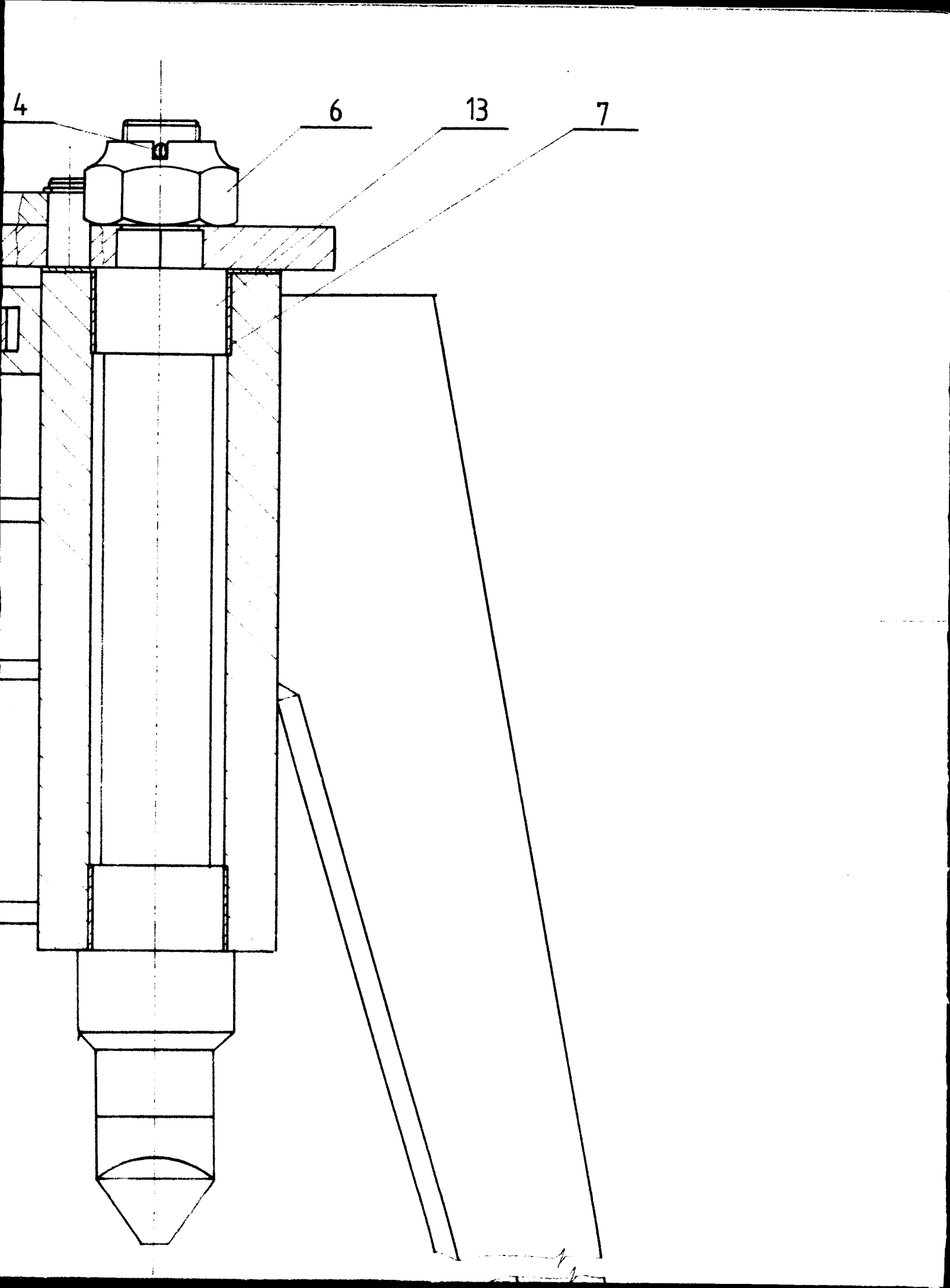
C

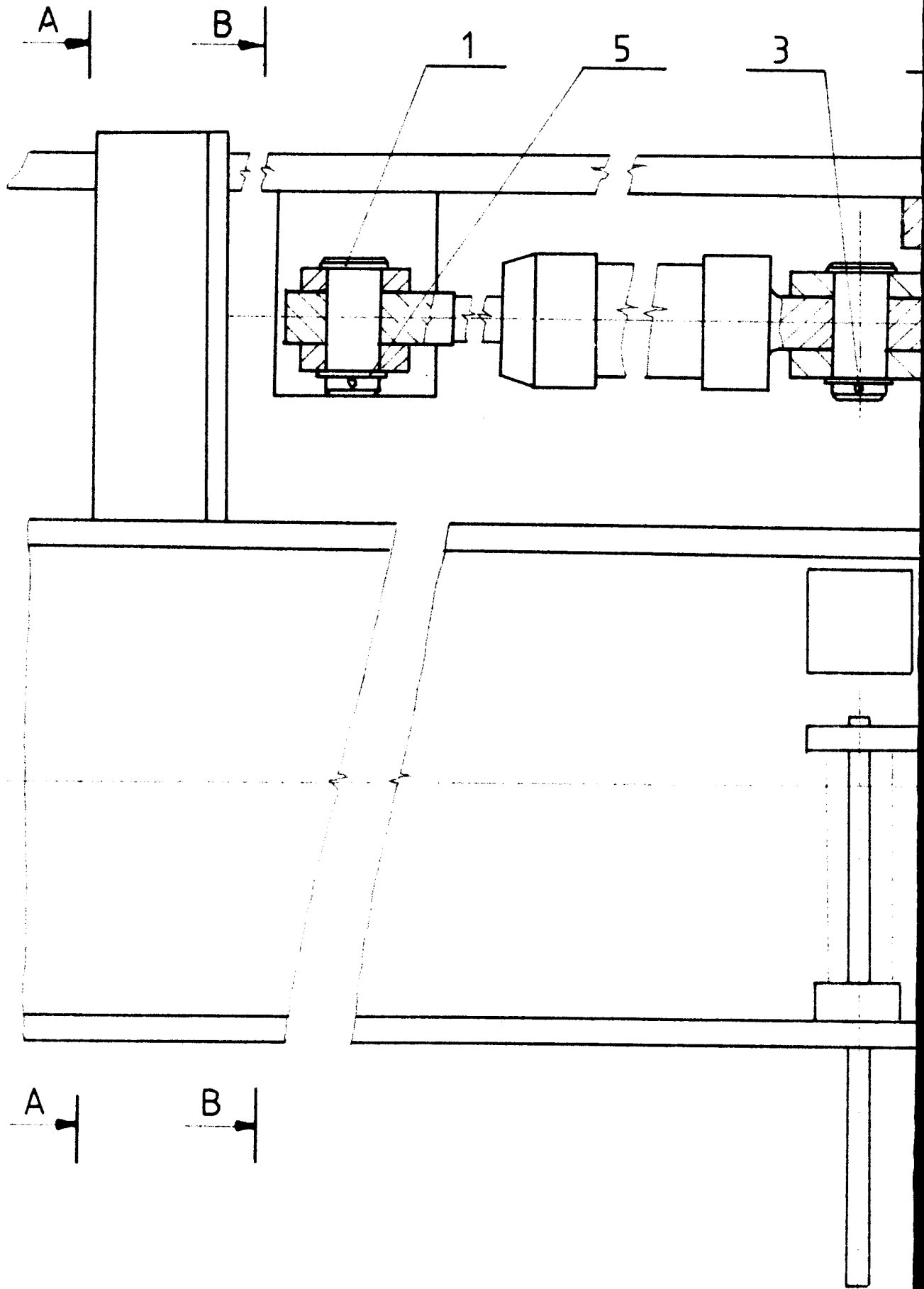
C

14

12

11



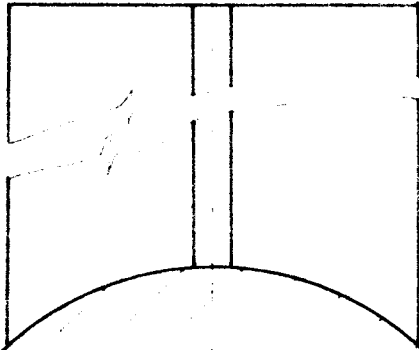


1:2

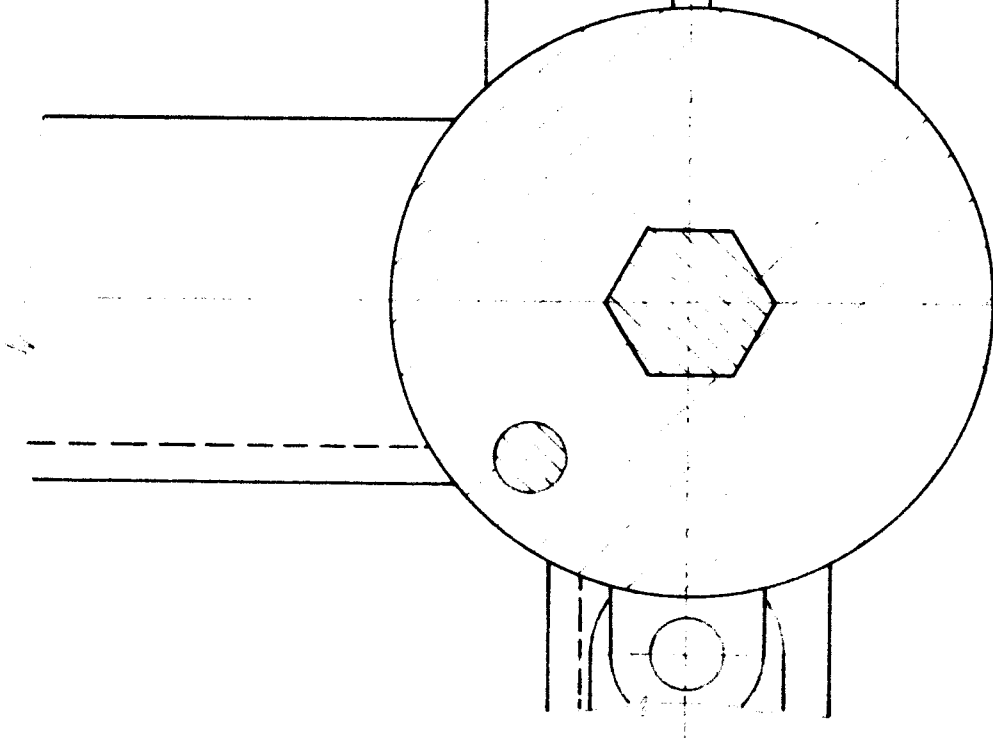
B. 01.01.01

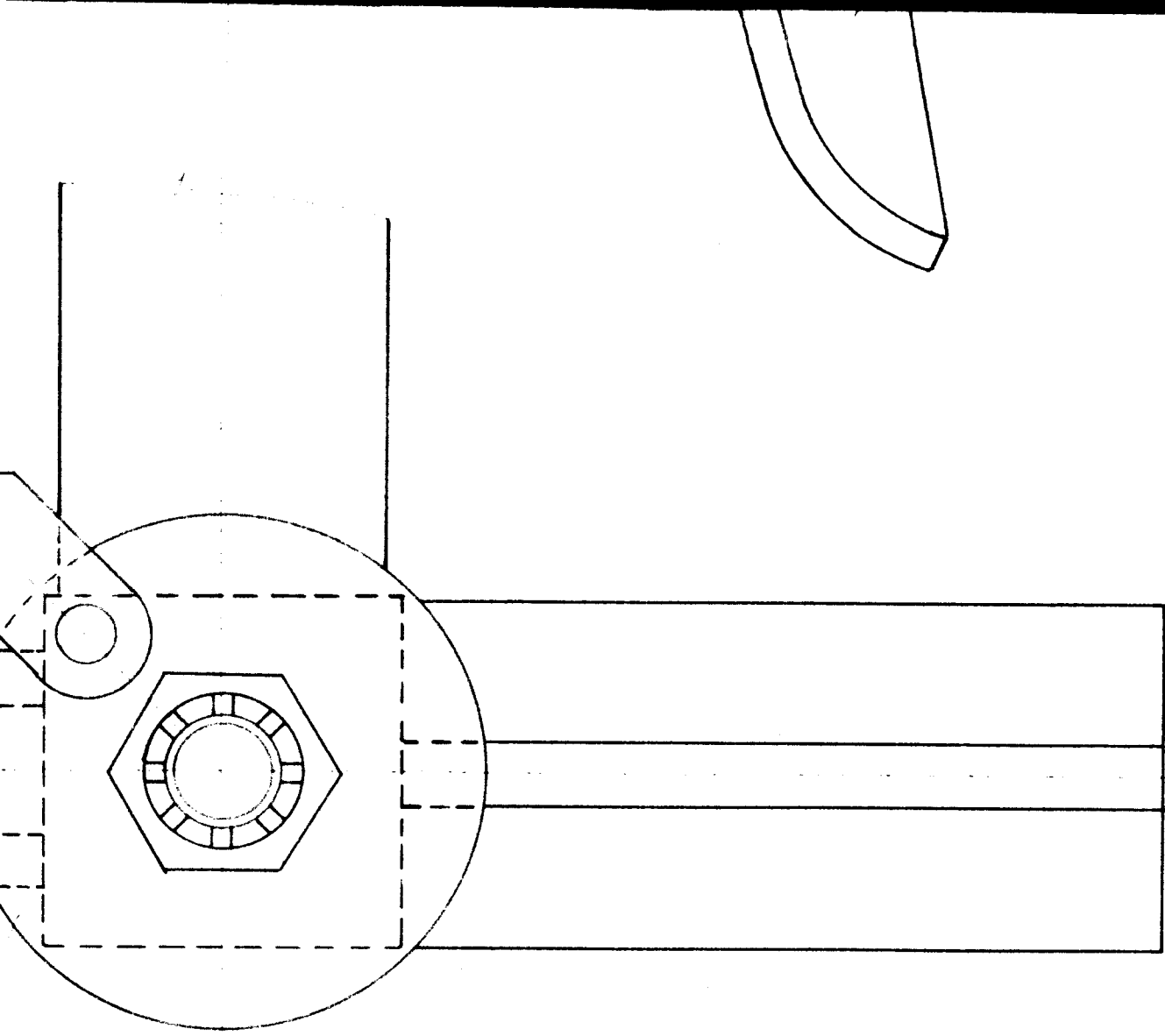
ROHOVÝ PRVEK

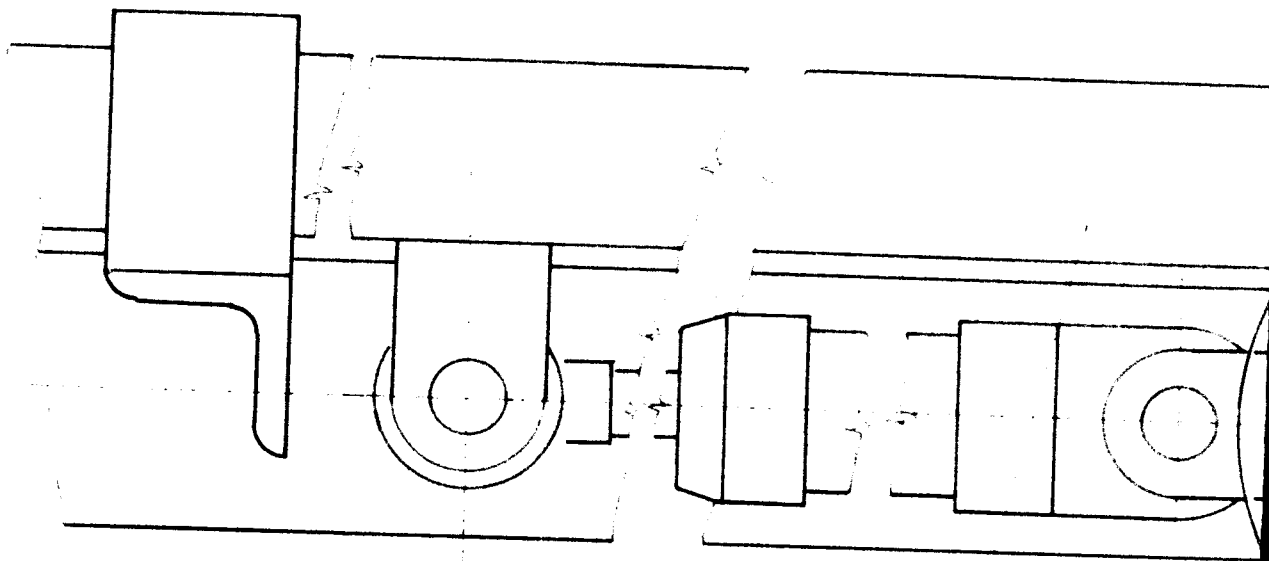
KSD - 253 - 02 - 00



C-C







9

15

8

10

