

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TECHNICKÉ
V BRNĚ



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF

DOPRAVNÍ GRAVITAČNÍ DRÁHA GRAVITIAL CONVEYOR FOR TRANSPORT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MILAN FATKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. JAN KAŠPÁREK

BRNO 2008



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství



Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2007/08

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Fatka Milan

který/která studuje v bakalářském studijním programu

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

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

Dopravní gravitační dráha

v anglickém jazyce:

Gravital conveyor for transport

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte dopravní gravitační dráhu pro přepravu ocelového odlitku v rámci mezioperační vnitropodnikové přepravy.

Technické parametry:

délka tratě	10 m
rychlost předmětů na začátku tratě	0,1 m.s-1
rychlost předmětů na konci tratě	0,6 m.s-1
dopravovaný předmět	odlitek
půdorysný rozměr	0,5 x 0,5 m
hmotnost	150 kg

Cíle bakalářské práce:

Proved'te:

funkční výpočet, určení hlavních rozměrů tratě, pevnostní výpočet hřídele válečku

Nakreslete:

sestavný výkres tratě, sestavný výkres sekce tratě, podsestavu válečku, detailní výkres hřídele válečku

Rozsah grafických prací:dle požadovaných cílů

Rozsah průvodní zprávy: 25 až 30 stran



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Seznam odborné literatury:

Gajdušek, J., Škopán, M.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení, skripta VUT Brno, 1988

Dražan, F. a kol.: Teorie a stavba dopravníků, skripta ČVUT Praha, 1983

Klimeš, P.: Části a mechanismy strojů, Akademické nakladatelství CERM, 2003



FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Kašpárek

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne 28.1.2008

L.S.



prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Prohlášení



Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovával sám, s pomocí vedoucího bakalářské práce, literatury a ostatních materiálů, které jsou uvedeny v použité literatuře.

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

V Brně, dne 15. 10. 2008

.....
Podpis

Anotace

Cílem této práce bylo navrhnout dopravní gravitační dráhu pro přepravu ocelového odlitku v rámci mezioperační vnitropodnikové přepravy. Dopravník je řešen podle platných norem s přihlédnutím k jednoduchosti konstrukce, výroby a montáže (demontáže) s širokým využitím normalizovaných částí, tedy aby zajišťoval požadované funkce a s přihlédnutím k optimalizaci nákladů. Taktéž bylo hleděno na to, aby se dalo využít návrhu při řešení obdobných zadání.

Klíčová slova:

Dopravní výška, rychlost, namáhání, ohyb, bezpečnost, váleček, hřídel, dopravník, zátěž, tření, utěsnění.

Annotation

The aim was to propose a conveying gravity path for the transport of steel casting in the context of inter-transfer service. The conveyor is dealt with valid norms with regard to simplicity of design, production and assembly (disassembly) with broad use of standardized parts. It was also seen to be done to take advantage of the proposal in solution of similar specification.

Keywords:

Drawing height, speed, effort, bend, safety, roll, shaft, conveyor, loading, friction, obturation.

Bibliografická citace mé práce:

FATKA, M. Dopravní gravitační dráha. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 30 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Kašpárek.



Úvod	7
<u>1. Koncepce</u>	8
<u>1. 1. váleček</u>	8
1.1.1. ložiska a utěsnění	9
1.1.2. návrh konce hřídele	8
<u>1. 2. návrh dráhy</u>	11
<u>1. 3. návrh podstavné konstrukce</u>	12
<u>2. Návrh tratě</u>	13
<u>2. 1. návrh uspořádání tratě</u>	13
2.1.1. počet válečků pod předmětem	13
2.1.2. délka válečku	14
2.1.3. počet válečků na trati	14
2.1.4. počet válečků na úseku trati	15
2.1.5. počet předmětů na trati	15
<u>2. 2. sklon trati</u>	15
2.2.1. přibližná hmotnost rotujících částí válečku	15
2.2.2. odpor vlivem čepového a valivého tření	16
2.2.3. odpor způsobený najetím předmětu na váleček	17
2.2.4. sklon trati	18
<u>3. Návrh hřídele válečku</u>	18
<u>3. 1. určení zatěžujících sil</u>	18
3.1.1. zatížení od hmotnosti válečku	18
3.1.2. zatížení od břemene	18
3.1.3. síly působící na hřídel	19
3.1.4. reakce v podporách	20
<u>3. 2. výpočet ohybových momentů</u>	20
3.2.1. ohybový moment v I. úseku	20
3.2.2. ohybový moment v II. úseku	20
3.2.3. ohybový moment v III. úseku	21
3.2.4. určení ohybového momentu v 1. nebezpečném průřezu	22
3.2.5. určení ohybového momentu v 2. nebezpečném průřezu	22
<u>3. 3. výpočet namáhání v kritických průřezích</u>	23
3.3.1. určení namáhání v 1. nebezpečném průřezu	23
3.3.2. určení namáhání v 2. nebezpečném průřezu	23
<u>3. 4. kontrola na smyk</u>	25
3.4.1. určení zatěžované plochy	25
3.4.2. určení namáhání ve smyku	25
<u>4. Závěr</u>	26
<u>5. Seznam použitých zdrojů</u>	27
<u>6. Seznam použitých zkratk a symbolů</u>	28
<u>7. Seznam příloh</u>	30

Úvod



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ

Problematika přepravy břemen je stará jako lidstvo samo. Přeprava předmětů z místa na místo by neměla vyžadovat nadměrnou obsluhu, měla by být rychlá a efektivní. Špatně fungující, či zcela nefunkční dopravník může brzdit celý výrobní proces, nebo ohrožovat včasné dodání výrobků zákazníkovi. Velice důležitá je též otázka bezpečnosti. Dnes se v mnoha podnicích intenzivně zabývají optimalizací materiálových toků, jelikož se zjistilo, že v této oblasti se nalézají velké rezervy v rámci úspor času a zaměstnanců. Právě válečkový dopravník představuje velice vhodný prostředek k přepravě kusového nákladu. Gravitační válečkový dopravník nevyžaduje žádnou speciální obsluhu, nepotřebuje žádnou dodávanou energii přeprava je rychlá a snadná, představuje velice vhodný prostředek k dopravě na krátké vzdálenosti. Existuje mnoho firem zabývajících se výrobou válečkových tratí. Většinou jsou stavebnicově koncipovány, což představuje řadu výhod. Stavebnicová konstrukce je snadno smontovatelná i demontovatelná, dá se řešit více zadání s použitím jedné dílů, což snižuje podstatně náklady a též lze následně relativně jednoduše upravovat.

Cílem této práce je navrhnout gravitační válečkovou trať podle moderních standardů a předvést, jak se má postupovat při zpracovávání technické dokumentace. V této práci se nacházejí pevnostní a kontrolní výpočty.

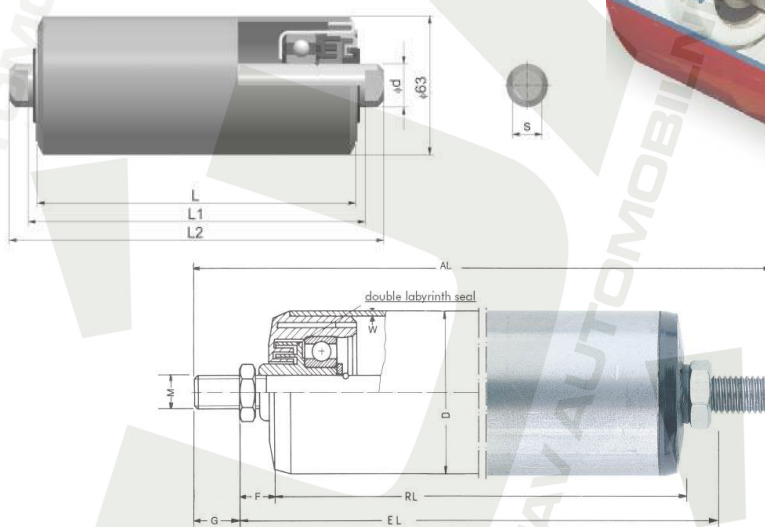
1. Koncepce

1.1 váleček

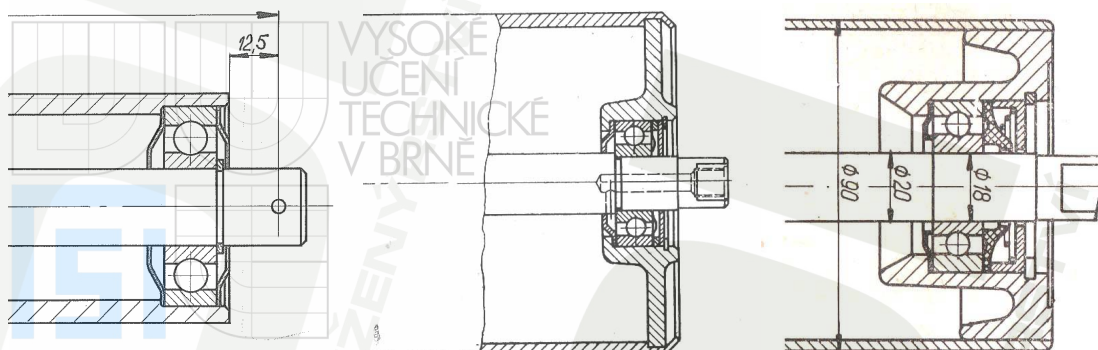
Válečky a jejich komponenty jsou vyráběny v mnoha variacích a konstruktér válečkové tratě by si jistě mohl vybrat pro něj nejvhodnější běžně vyráběný váleček, nebo alespoň jeho komponenty. Vzhledem k tomu, že mám váleček navrhout, tak při jeho návrhu nepoužiji žádný vyráběný komponent (mimo normalizovaných částí) a navrhnu originální koncepci.

1.1.1. ložiska a utěsnění

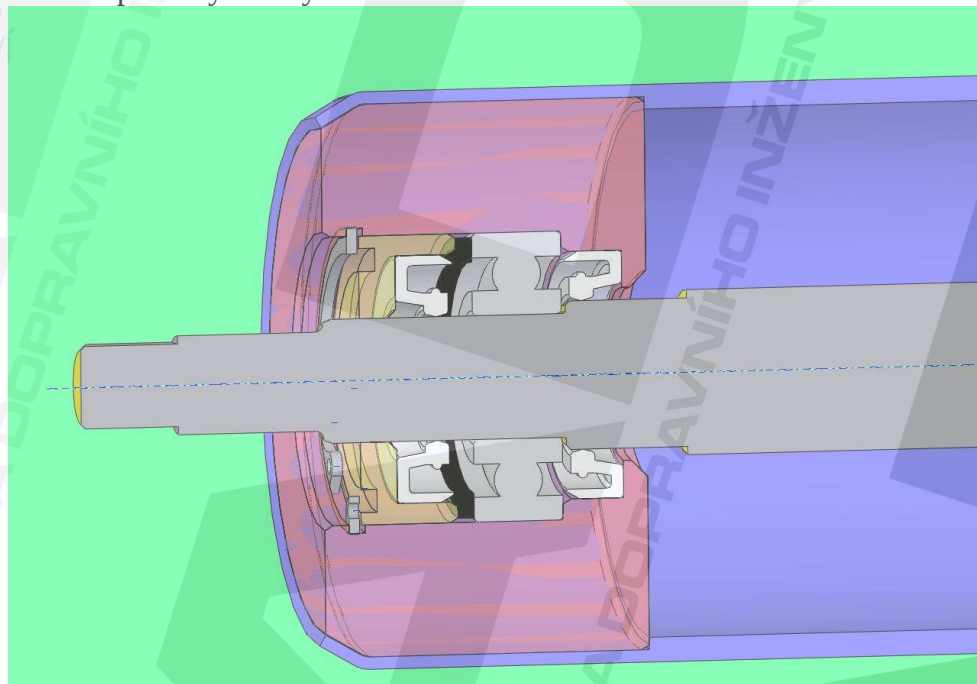
Běžně se používají jednořadá kuličková ložiska pro šířku tratě do 1400mm, podle [2] str. 234, což je i náš případ. Dnes je nejrozšířenější formou utěsnění ložisek systém plastových labyrintů, což je velice výhodné vzhledem k funkčnosti utěsnění a k tomu, že nepředstavuje nežádoucí brždění válečku. Jedinou nevýhodou této konstrukce jsou počáteční náklady na tvorbu forem pro lisování labyrintů. Návratnost tohoto řešení je až při velkých sériích, což je, vzhledem k tomu, že navrhují jeden konkrétně určený dopravník, nepoužitelné řešení. Dalším používaným řešením je utěsnění pomocí speciálních pryžových těsnění, což představuje stejný problém, jako v případě labyrintového řešení. Poslední možností je částečné utěsnění pomocí tvarovaných plíšků, což je řešení, které také vyžaduje vstupní náklady, ale již ne tak veliké, jako v předcházejících možnostech, ovšem toto řešení není optimální z hlediska funkce, jelikož musí být ložisko pravidelně domazáváno, což představuje druhotné náklady provozovatele na zaměstnance starajících se o údržbu, také na mazivo (což představuje i ekologické problémy) a navíc je nutné stroj pravidelně odstavovat. Z těchto důvodů jsem se rozhodnul prostor ložisek utěsnit pomocí normalizovaných hřídelových těsnících kroužků, které se vyrábějí ve velkých sériích a tedy jsou levné a představují téměř dokonalé utěsnění.



Obr. 1 - příklady labyrintového utěsnění válečku



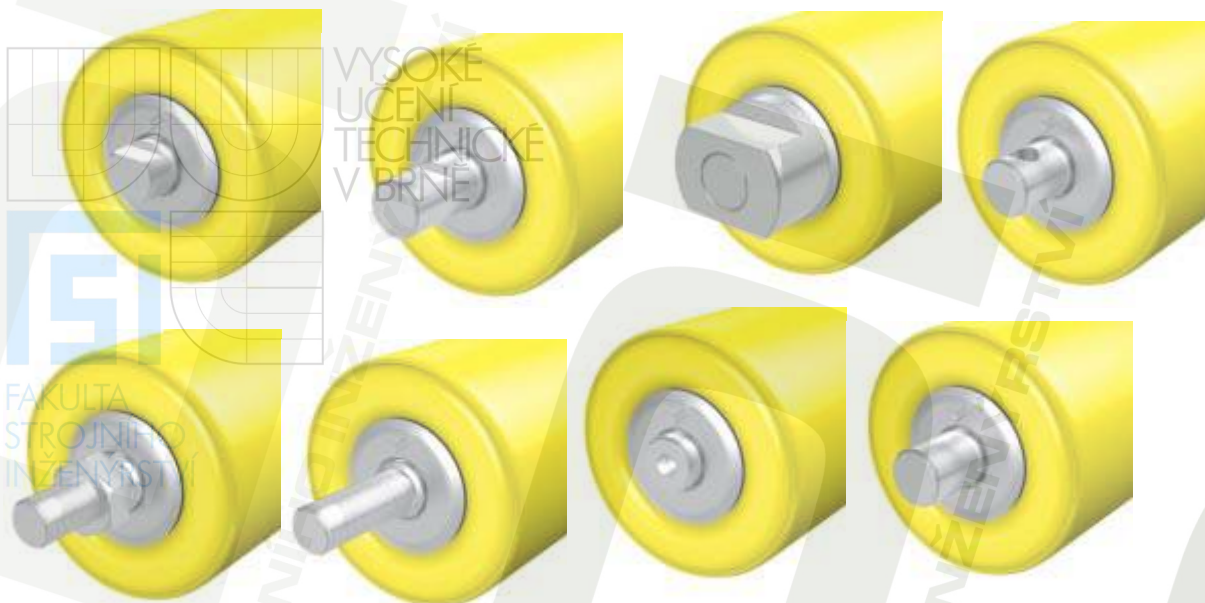
Obr. 2 - příklady nelabyrintového utěsnění válečku



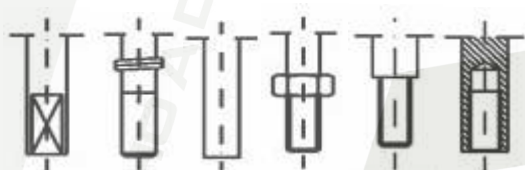
Obr. 3 - návrh utěsnění válečku

1.1.2. návrh konce hřídele

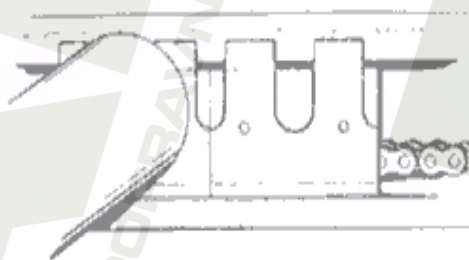
Pro ukončení hřídele pro jeho uchycení v rámu se používá řada provedení. Nejběžnější je provedení pomocí zploštění válcové plochy pro uchycení do drážek. Toto řešení je velice jednoduché a představuje řadu výhod. Váleček se snadno ukotvuje pouhým vložením, což je velice výhodné vzhledem k časům montáže (demontáže) a vzhledem k tomu, že uložení není vetknuté, není namáhán konec hřídele, který je v těchto místech nejtenčí. Na druhé straně je váleček ohrožen nenechavými zaměstnanci a provoz bude o něco hlučnější. Výhody tohoto řešení ovšem značně převyšují zápory, proto jej použijí. Proti nenechavým zaměstnancům použijí zábranu, která bude přecházet konec válečku a bude zároveň sloužit jako zábrana proti vyjetí dopravovaného předmětu z dráhy. V případě poškození válečku opravář bude nucen zábranu nejdříve odstranit pomocí odšroubování dvou šroubů M10x20, což nepředstavuje žádnou velkou zátěž.



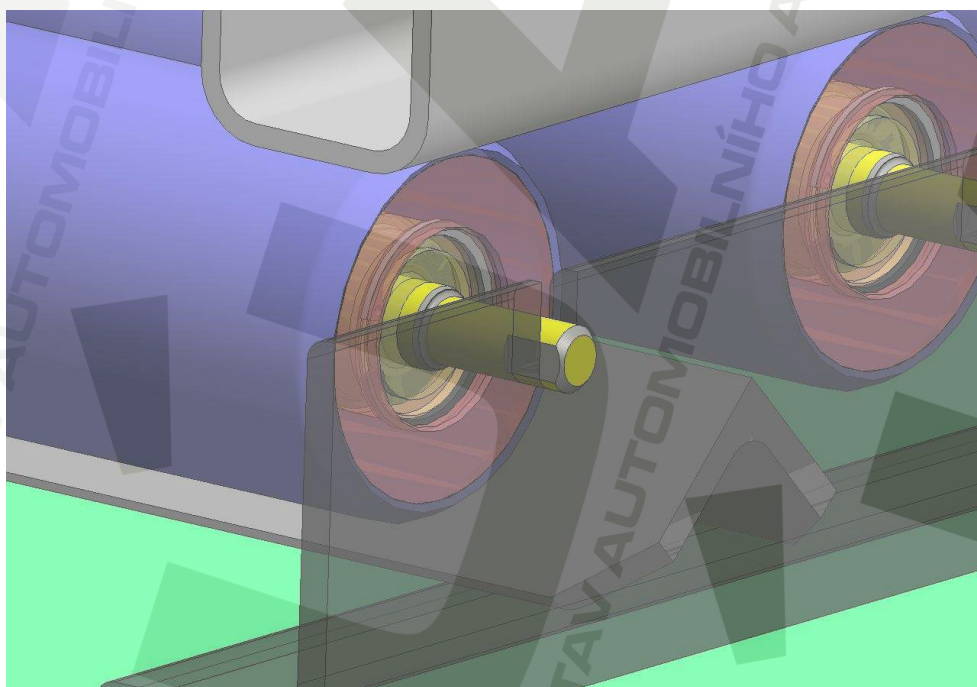
Obr. 4 - Příklady konců hřídelí fy TRANZA



Obr. 5 - příklady konců hřídelí fy Drašar



Obr. 6 - uložení do drážek

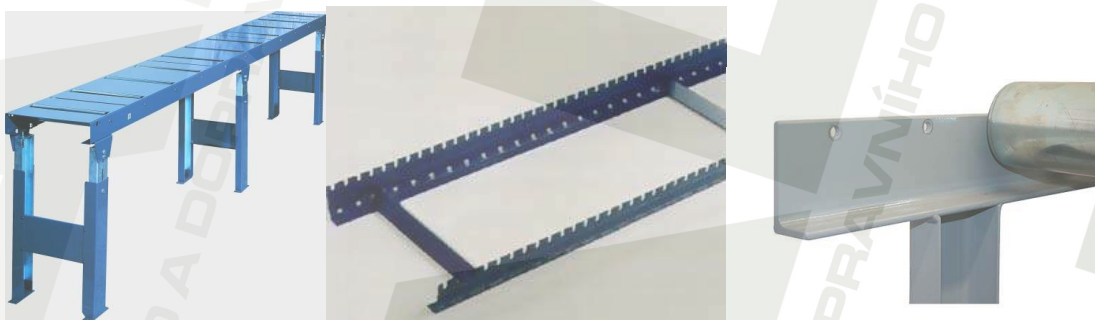


Obr. 7 - návrh uložení válečku

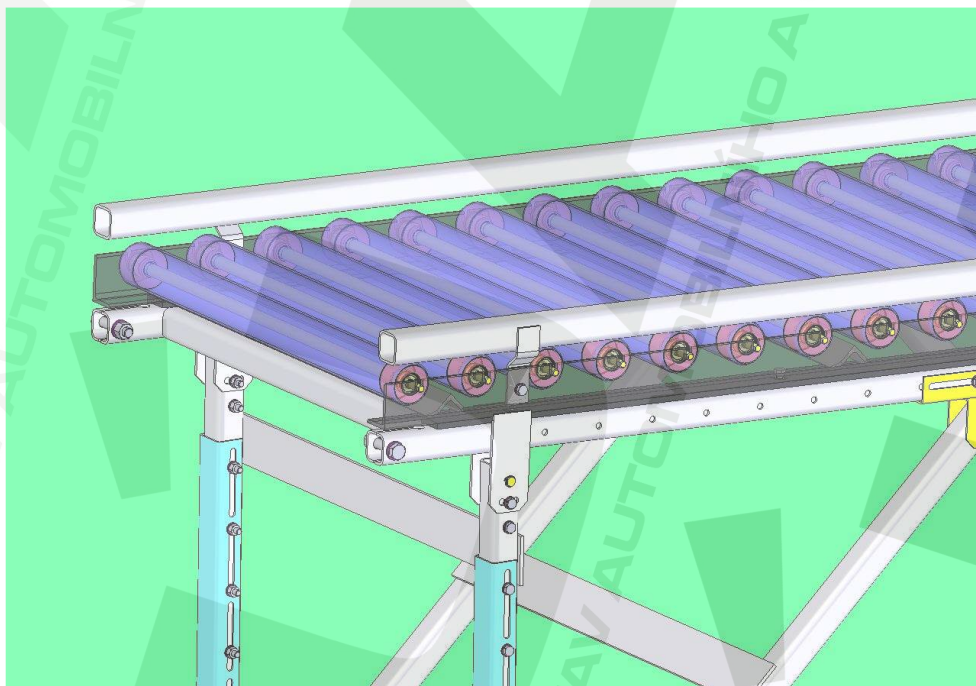
1. 2. návrh dráhy

Dráhy bývají řešeny různě. Nejobvyklejší je konstrukce pomocí L-profilů, které jsou připevněny k rámu podstavné konstrukce pomocí šroubů, nebo pomocí svarů. Další řešení je jen pomocí svařených L- profilů sloužících i jako rám podstavy. Poslední běžné řešení je provedeno pomocí složitě tvarovaných plechů, které jsou svařeny a zároveň slouží jako rám podsestavy.

Rozhodnul jsem se pro řešení ze svařovaných normalizovaných L-profilů, které jsou upraveny pro uchycení válečků a pro uchycení k rámu podstavné konstrukce. Rozhodnul jsem se pro dělenou konstrukci vzhledem k tomu, že během svařování velkých celků dochází k nežádoucím pnutím a poté je relativně složité zajistit přímou dráhu předmětu po trati. Další výhodou je, že je možné celou, relativně lehkou, podstavnou konstrukci sestavit a až na ní umístit jednotlivé sekce dráhy. Mezi rám dráhy a rám podstavy a rám dráhy jsem umístil pryžovou vložku sloužící pro odstranění nežádoucího pnutí při sestavování celku (u svařovaných rámu je nemožné zajistit optimální rovinost) a také k tlumení vibrací a tím i hlučnosti.



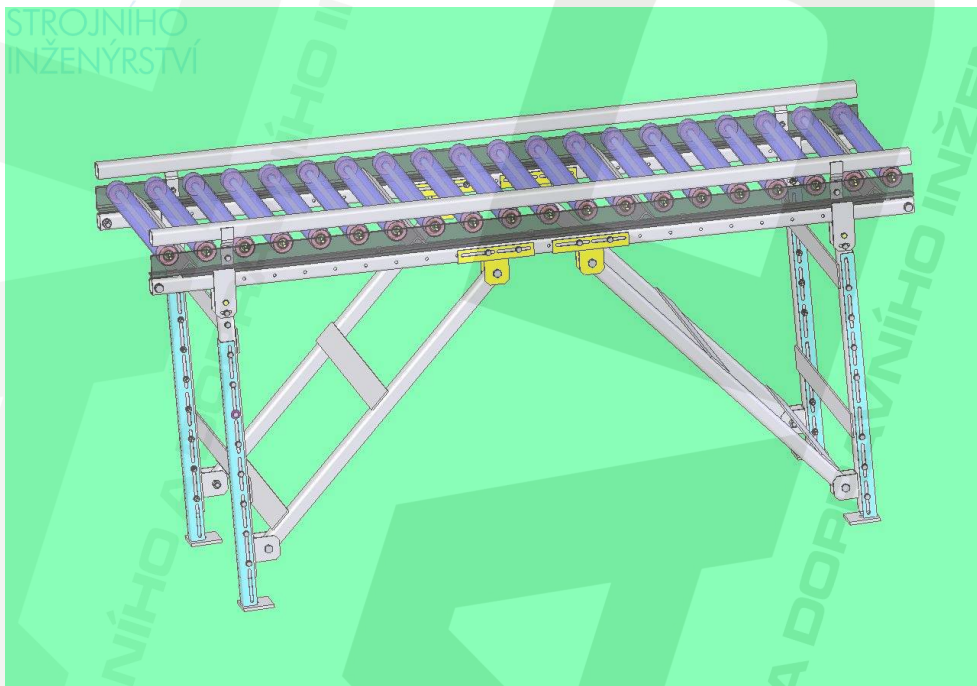
Obr. 8 - příklady provedení dráhy



Obr. 9 - Návrh dráhy

1. 3. návrh podstavné konstrukce

Podstavné konstrukce jsou řešeny většinou stavebnicově, tedy se pomocí jedné podstavné konstrukce dá řešit široké možnosti použití. Svařované, jednoúčelové konstrukce dnes prakticky neexistují, vzhledem k složitosti výroby, montáže přesunu a převozu. Rozhodnul jsem se navrhnout stavebnicovou konstrukci s využitím normalizovaných profilů. Řešil jsem jí tak, aby byla snadno rozebíratelná, sestavitelná, dala se tato koncepce použít i pro jiné zakázky a aby šla upravovat dle provozních požadavků (sklon lze upravovat).



Obr. 10 - Návrh dráhy



Obr. 11 - Celkový návrh dopravníku

2. Návrh tratě

2. 1. návrh uspořádání tratě

2.1.1. počet válečků pod předmětem

Pod předmětem by měly být vždy minimálně dva válečky. Obvykle se volí 3 až 5 válečky, podle [2] str. 235, proto použijeme 4.

$$t = \frac{a_b}{k_1} \quad (1)$$

$$t = \frac{a_z}{k_1}$$

$$t = \frac{0,5}{4}$$

$$t = 0,125 \text{ m}$$

kde:

a_b - šířka podstavy břemene

k_1 - počet válečků pod předmětem

2.1.2. délka válečku

Délka válečku se určuje podle šířky dopravovaného předmětu.

$$B \geq \frac{a_b}{0,8} \quad \text{z [4] str. 215} \quad (2)$$

$$B \geq \frac{0,5}{0,8}$$

$$B \geq 0,625 \text{ m}$$

Kde:

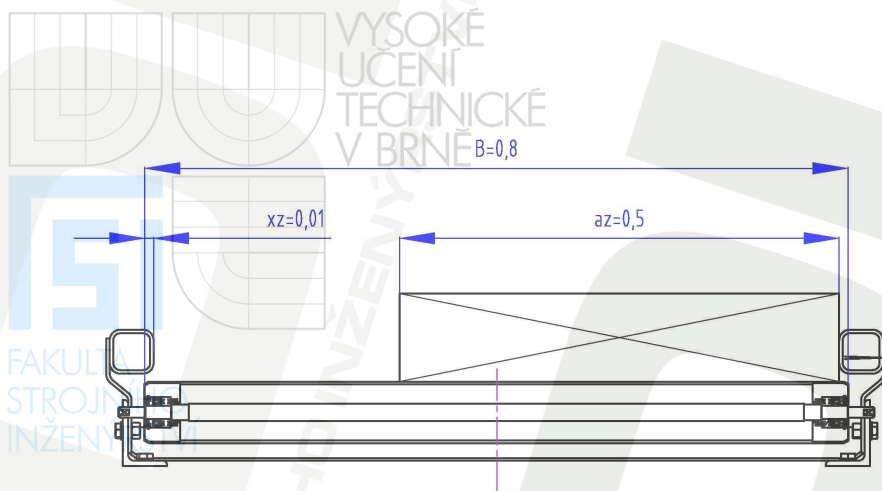
a_b - šířka podstavy dopravovaného předmětu

Délky válečků jsou normalizované. Dopravník musí zajistit průjezd předmětu v každé jeho poloze, tak aby nedošlo k jeho zapříčení, tedy musíme vzhledem k navržené koncepci, se zábranami proti odchylení předmětu z trasy, použít v.č.(3).

$$B \geq \sqrt{a_b^2 + a_b^2} + 2 \cdot x_z \quad (3)$$

$$B \geq \sqrt{0,5^2 + 0,5^2} + 2 \cdot 0,01$$

$$B \geq 0,73 \text{ m}$$



Obr. 12 - délka válečku

kde:

a_b - šíře podstavy břemene

x_z - přesah zábrany přes váleček

Nejbližší větší normalizovaná délka válečku je 0,8m, podle [1] str. 103.

2.1.3. počet válečků na trati

$$z = \frac{L}{t} \quad (4)$$

$$z = \frac{10}{0,125}$$

$$z = 80 \text{ ks.}$$

kde:

L - délka trati

t – rozteč válečků (1)

2.1.4. počet válečků na úseku trati

Trat' je sestavena ze čtyř úseků.

$$z_u = \frac{L_u}{t} \quad (5)$$

$$z_u = \frac{2,5}{0,125}$$

$$z_u = 20 \text{ ks.}$$

kde:

L_u - délka úseku trati

t - rozteč válečků (1)

2.1.5. počet předmětů na trati

Vzhledem k předpokládaným manipulačním časům (30s/ks.) volím:

$$N=120 \text{ [ks.h}^{-1}\text{]}$$

$$n_p = \frac{N \cdot L}{3600 \cdot v_s} \quad (6)$$

$$n_p = \frac{120 \cdot 10}{3600 \cdot 0,35}$$

$$n_p \doteq 1 \text{ ks}$$

kde:

N - dopravní výkon

L - délka trati

v_s - střední rychlost předmětu

2.2 sklon trati

Následující výpočty potřebujeme ke stanovení úhlu sklonu tratě (β) potřebného k rovnoměrně zrychlenému pohybu předmětu dle zadaných parametrů, vzhledem ke gravitační síle působící na předmět a k odporům, které předmět brzdí. Na těleso působí odpory vlivem čepového a valivého tření (10), odpor vzniklý ztrátou kinetické energie při najetí předmětu na stojící váleček, jenž se musí začít otáčet (9) a další odpory, které si můžeme dovolit zanedbat (aerodynamický, vzniklý nekvalitním povrchem předmětu a válečku, výrobními a montážními nepřesnostmi atp.).

2.2.1. přibližná hmotnost rotujících částí válečku.

Hmotnost rotujících částí válečku potřebujeme znát pro stanovení ztrátové energie při najíždění předmětu na váleček.

$$m_r = m_{pl} + 2 \cdot m_{\epsilon} \quad (8)$$

$$m_r = \rho_{Fe} \cdot \pi \cdot \left(\frac{(D^2 - d^2) \cdot B + (D_{\epsilon}^2 - d_{\epsilon}^2) \cdot B_{\epsilon}}{4} \right)$$

$$m_r = 7800 \cdot \pi \cdot \left(\frac{(0,07^2 - 0,064^2) \cdot 0,7 + (0,067^2 - 0,035^2) \cdot 0,04}{4} \right)$$

$$m_r = 5,7 \text{ kg}$$

kde:

m_{pl} - hmotnost pláště

m_{ϵ} - hmotnost náboje

ρ_{Fe} - měrná objemová hmotnost

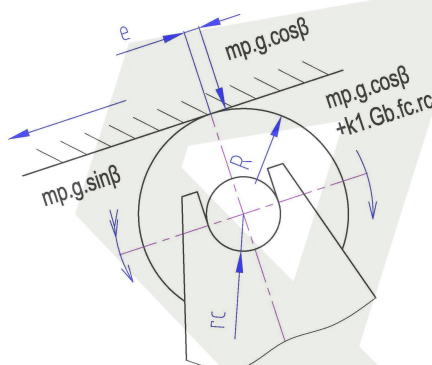
D - velký průměr válečku

D_{ϵ} - velký průměr náboje

d - vnitřní průměr válečku

d_{ϵ} - vnitřní průměr náboje

2.2.2. odpor vlivem čepového a valivého tření



Obr. 13 - znázornění čepového a valivého tření

$$W_1 = \frac{m_p \cdot g \cdot \cos \beta}{R} \cdot (e + f_{\epsilon} \cdot r_{\epsilon}) + k_1 \cdot g \cdot m_r \cdot \frac{f_{\epsilon} \cdot r_{\epsilon}}{R} \quad \text{z [4] str. 216; [1] str. 104} \quad (9)$$

$$W_1 = \frac{150 \cdot 9,81 \cdot 1}{0,035} \cdot (0,0005 + 0,05 \cdot 0,0075) + 4 \cdot 9,81 \cdot 5,7 \cdot \frac{0,05 \cdot 0,0075}{0,035}$$

$$W_1 = 39,18 \text{ N}$$

kde:

m_p - hmotnost předmětu

Kde:

- g - gravitační konstanta
- β - úhel sklonu tratě
- e - součinitel valivého tření
- f_c - součinitel čepového tření
- r_c - poloměr čepu válečku v ložiskách
- R - poloměr válečku
- k_1 - počet válečků pod břemenem
- m_r - hmotnost rotujících částí válečku

Vzhledem k předpokladu, že úhel sklonu bude relativně malý, tak můžeme pro tento výpočet předpokládat, že je úhel β roven nule.

2.2.3. odpor způsobený najetím předmětu na váleček

$$W_2 = \frac{J \cdot \omega^2}{t} \quad \text{z [1] str. 105; [4] str. 216} \quad (10)$$

$$W_2 = \frac{m_r \cdot r_s^2}{t} \cdot \frac{(v_k + v_0)^2}{(2 \cdot R)^2}$$

$$W_2 = \frac{m_r \cdot r_s^2}{t} \cdot \frac{v_k^2 + 2v_k \cdot v_0 + v_0^2}{4 \cdot R^2}$$

$$W_2 = \frac{5,7 \cdot 0,032^2}{0,125} \cdot \frac{0,6^2 + 2 \cdot 0,6 \cdot 0,1 + 0,1^2}{4 \cdot 0,035^2}$$

$$W_2 = 4,7 \text{ N}$$

- J - moment setrvačnosti rotujících částí válečku
- ω - úhlová rychlost válečku
- t - rozteč válečků
- m_r - hmotnost rotujících částí válečku
- v_k - rychlost předmětu na konci dráhy
- v_0 - rychlost předmětu na začátku dráhy
- R - poloměr válečku

2.2.4. sklon trati

$$m_p \cdot g \cdot \sin \beta = W \quad z [1] \text{ str. 105}$$

(11)

$$m_p \cdot g \cdot \sin \beta = W_1 + W_2$$

$$\beta = \arcsin \frac{W_1 + W_2}{m_p \cdot g}$$

$$\beta = \arcsin \frac{39,18 + 4,7}{150 \cdot 9,81}$$

$$\beta = 1,7^\circ$$

kde:

m_p - hmotnost předmětu

g - gravitační konstanta

W_1 - odpor vlivem čepového a valivého tření (9)

W_2 - odpor vlivem najetí předmětu na váleček (10)

Vzhledem k zanedbaným odporům, výrobním nepřesnostem a montážním předpokladům volím $\beta = 2^\circ$.

3. Návrh hřídele válečku

3. 1. určení zatěžujících sil

3.1.1. zatížení od hmotnosti válečku

$$\vec{G}_v = m_r \cdot g$$

(12)

$$\vec{G}_v = 5,7 \cdot 9,81$$

$$\vec{G}_v = 56 \text{ N}$$

kde:

m_r - hmotnost rotujících částí válečku (10)

g - gravitační konstanta

3.1.2. zatížení od břemene

$$\vec{G}_b = \frac{m_p \cdot g}{k_1}$$

(13)

$$\vec{G}_b = \frac{150 \cdot 9,81}{4}$$

$$\vec{G}_b = 368 \text{ N}$$

kde:

m_p - hmotnost předmětu
 g - gravitační konstanta
 k_1 - počet válečků pod předmětem

3.1.3. síly působící na hřídel

$$\vec{F}_1 = \frac{\vec{F}_v}{2} + \frac{x_2}{x_1 + x_2} \cdot \vec{G}_b \quad (14)$$

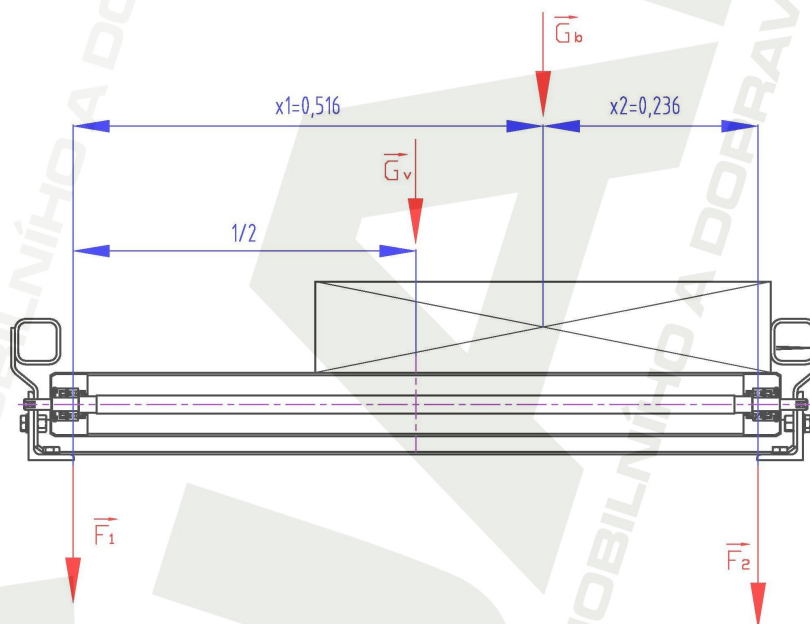
$$\vec{F}_1 = \frac{56}{2} + \frac{236}{752} \cdot 368$$

$$\vec{F}_1 = 143,5 \text{ N}$$

$$\vec{F}_2 = \frac{\vec{F}_v}{2} + \frac{x_1}{x_1 + x_2} \cdot \vec{G}_b \quad (15)$$

$$\vec{F}_2 = \frac{56}{2} + \frac{516}{752} \cdot 368$$

$$\vec{F}_2 = 280,5 \text{ N}$$



Obr. 14 - znázornění sil působících na hřídel

kde:

$\vec{F}_1$ - síla působící na levou stranu hřídele

$\vec{F}_2$ - síla působící na pravou stranu hřídele

$\vec{G}_v$ - síla vyvolaná hmotností rotačních částí válečku (12)

$\vec{G}_b$ - síla vyvolaná hmotností břemene (13)

m_p - hmotnost předmětu

k_1 - počet válečků pod předmětem

x_1 - vzdálenost těžiště břemene od středu levého ložiska [m]
 x_2 - vzdálenost těžiště břemene od středu pravého ložiska [m]

3.1.4. reakce v podporách

$$\vec{M}_o = -\vec{F}_2 \cdot c - \vec{F}_1 \cdot (b + c) + \vec{F}_A \cdot (a + b + c) = 0 \quad (16)$$

$$\vec{F}_A = \frac{\vec{F}_2 \cdot c + \vec{F}_1 \cdot (b + c)}{(a + b + c)}$$

$$\vec{F}_A = \frac{280,5 \cdot 0,043 + 143,5 \cdot (0,752 + 0,043)}{(0,043 + 0,752 + 0,043)}$$

$$\vec{F}_A = 150,5 \text{ N}$$

$$\vec{F}_B = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 - \vec{F}_A \quad (17)$$

$$\vec{F}_B = 143,5 + 280,5 - 150,5$$

$$\vec{F}_B = 273,5 \text{ N}$$

kde:

$\vec{F}_1$ - síla působící na levou stranu hřídele (14)

$\vec{F}_2$ - síla působící na pravou stranu hřídele (15)

$\vec{F}_A$ - síla působící v podpoře A

$\vec{F}_B$ - síla působící v podpoře B

a - délka úseku I.

b - délka úseku II.

c - délka úseku III.

3. 2. výpočet ohybových momentů

3.2.1. ohybový moment v I. úseku

$$x_p \in (0 ; 0,043) \text{ m}$$

$$M_{O_I} = \vec{F}_A \cdot x_p \quad (18)$$

$$\vec{M}_{O_I} \in (0 ; 6,45) \text{ N} \cdot \text{m}$$

3.2.2. ohybový moment v II. úseku

$$x_p \in (0 ; 0,795) \text{ m}$$

$$M_{O_{II}} = \vec{F}_A \cdot x_p - \vec{F}_1 \cdot (x_p - a) \quad (19)$$

$$\vec{M}_{O_{II}} \in (6,45 ; 11,73) \text{ N} \cdot \text{m}$$

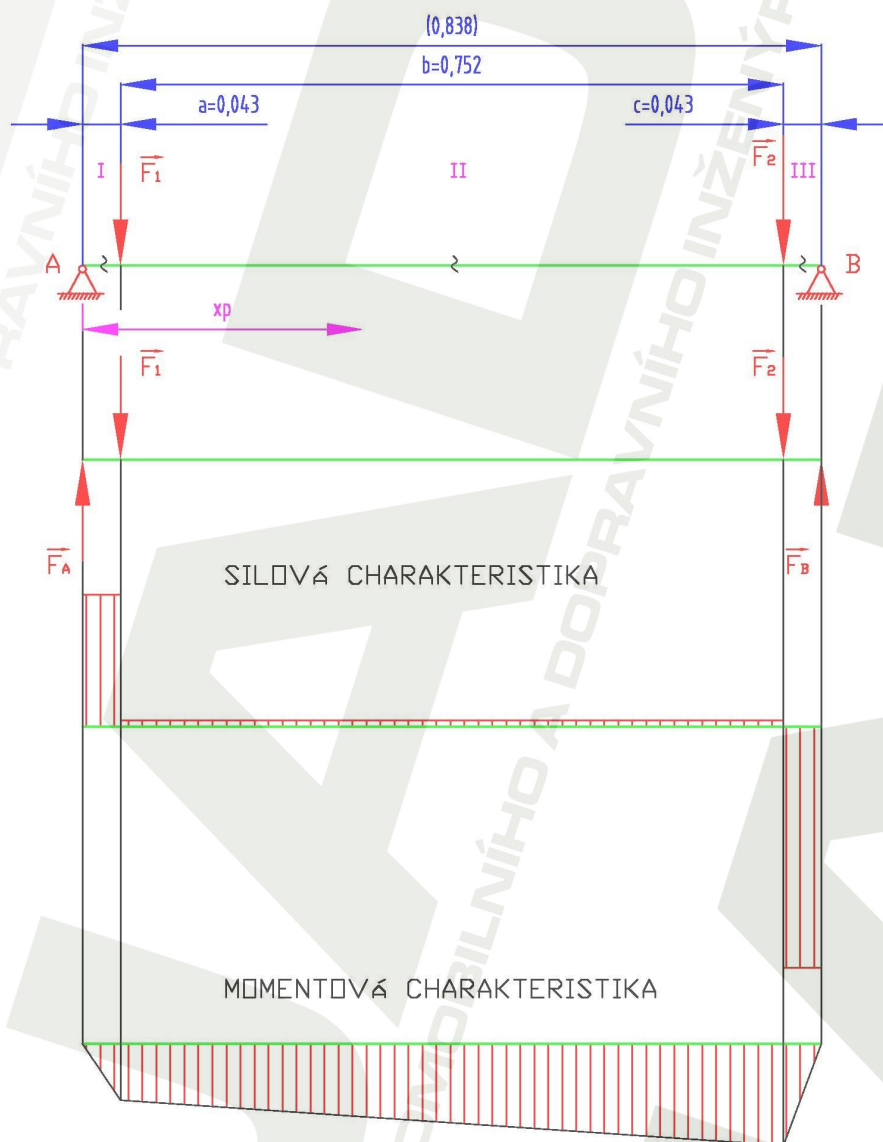
3.2.3. ohybový moment v III. úseku

$$x_p \in (0 ; 0,838) \text{ m}$$

$$M_{O_{III}} = \vec{F}_A \cdot x_p - \vec{F}_1 \cdot (x_p - a) - \vec{F}_2 \cdot (x_p - a - b) \quad (20)$$

$$\vec{M}_{O_{III}} \in (11,73 ; 0) \text{ N} \cdot \text{m}$$

ISI
FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ



Obr. 15 - znázornění výsledných vnitřních účinků a silové a momentové charakteristiky

3.2.4. určení ohybového momentu v 1. nebezpečném průřezu

$$x_p = 0,819 \text{ m}$$

$$x_p \in III$$

$$M_{O_{kr1}} = 150,5 \cdot 0,819 - 143,5 \cdot (0,819 - 0,043) - 280,5 \cdot (0,819 - 0,043 - 0,752)$$

$$M_{O_{kr1}} = 5,2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

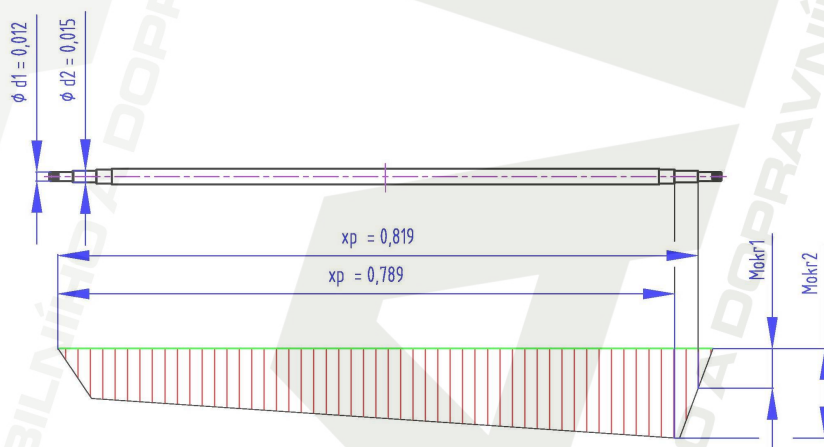
3.2.5. určení ohybového momentu v 2. nebezpečném průřezu

$$x_p = 0,789 \text{ m}$$

$$x_p \in II$$

$$M_{O_{kr2}} = 150,5 \cdot 0,789 - 143,5 \cdot (0,789 - 0,043)$$

$$M_{O_{kr2}} = 11,7 \text{ N} \cdot \text{m}$$



Obr. 16 - znázornění nebezpečných průřezů

kde:

$\vec{F}_1$ - síla působící na levou stranu hřídele (14)

$\vec{F}_2$ - síla působící na pravou stranu hřídele (15)

$\vec{F}_A$ - síla působící v podpoře A (16)

x_p - pomocný rozměr

3. 3. výpočet namáhání v kritických průřezích

3.3.1. určení namáhání v 1. nebezpečném průřezu

$$\sigma_{O_{kr1}} = \frac{M_{O_{kr1}}}{W_{O_{kr1}}} \quad (21)$$

$$\sigma_{O_{kr1}} = \frac{32 \cdot M_{O_{kr1}}}{\pi \cdot d_1^3} \cdot \alpha_1$$

$$\sigma_{O_{kr1}} = \frac{32 \cdot 5,2}{\pi \cdot 0,012^3} \cdot 1,75$$

$$\sigma_{O_{kr1}} = 53,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{O_{dov}} \geq \sigma_{O_{kr1}} \cdot k_k \quad (22)$$
$$170 \geq 107,4$$

VYHOVUJE

3.3.2. určení namáhání v 2. nebezpečném průřezu

$$\sigma_{O_{kr2}} = \frac{M_{O_{kr2}}}{W_{O_{kr2}}} \cdot \alpha \quad (23)$$

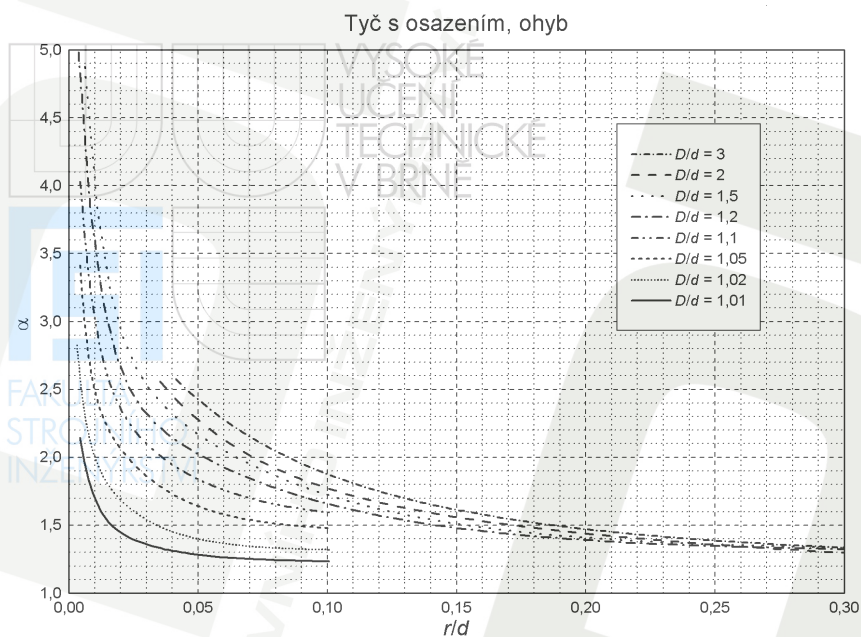
$$\sigma_{O_{kr2}} = \frac{32 \cdot M_{O_{kr2}}}{\pi \cdot d_2^3} \cdot \alpha_2$$

$$\sigma_{O_{kr2}} = \frac{32 \cdot 11,7}{\pi \cdot 0,015^3} \cdot 2,4$$

$$\sigma_{O_{kr2}} = 84,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{O_{dov}} \geq \sigma_{O_{kr1}} \cdot k_k \quad (24)$$
$$170 \geq 169$$

VYHOVUJE



kde:

$\sigma_{O_{dov}}$ -dovolené napětí v ohybu, podle [5] str. 54

d_1 -průměr konce hřídele

d_2 -průměr hřídele pro ložisko

k_k -koeficient bezpečnosti

$M_{O_{kr1}}$ -ohybový moment v prvním nebezpečném průřezu

$M_{O_{kr2}}$ -ohybový moment v druhém nebezpečném průřezu

α_1 -koeficient prvního vrubu

α_2 -koeficient druhého vrubu

$W_{O_{kr1}}$ -modul průřezu $\varnothing d_1$

$W_{O_{kr2}}$ -modul průřezu $\varnothing d_2$

3. 4. kontrola na smyk

3.4.1. určení zatěžované plochy



Obr. 18 - určení výpočtu průřezu S

$$S = S_d - 2 \cdot S_1 \quad (25)$$

$$S = \pi \cdot r_d^2 - 2 \cdot \frac{\pi \cdot r_d^2}{360} \cdot \alpha_d \quad (26)$$

$$S = \pi \cdot r_d^2 - 2 \cdot \frac{\pi \cdot r_d^2}{360} \cdot 2 \cdot \arccos \frac{r_d - x_d}{r_d}$$

$$S = \pi \cdot 6^2 - 2 \cdot \frac{\pi \cdot 6^2}{360} \cdot 2 \cdot \arccos \frac{6-1}{6}$$

$$S = 71 \text{ mm}^2$$

3.4.2. určení namáhání ve smyku

$$\tau_s = \frac{F_B}{S} \quad (27)$$

$$\tau_s = \frac{273,5}{71}$$

$$\tau_s = 3,85$$

$$\tau_{s_{dov}} \geq \tau_s \cdot k_k \quad (28)$$

$$105 \geq 7,7 \text{ - VYHOVUJE}$$

kde:

$\tau_{s_{dov}}$ -dovolené napětí ve smyku, podle [5] str. 55

k_k -koeficient bezpečnosti

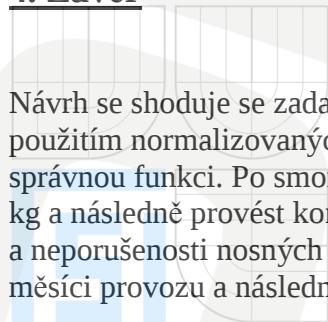
$\bar{F}_B$ -síla působící v podpoře B

S -plocha průřezu zploštěného konce hřídele

S_1 -plocha zploštění $\varnothing d_1$

S_d -plocha průřezu $\varnothing d_1$

4. Závěr



Návrh se shoduje se zadanými požadavky. Dopravník je originální koncepce s širokým použitím normalizovaných částí. Je nutné vyrobít prototyp válečku, který se odzkouší na správnou funkci. Po smontování dráhy je nutné ověřit funkci a zkušebně zatížit zatížením 225 kg a následně provést kontrolu spojů (u šroubových spojů se po ověření zkontroluje dotažení) a neporušenosti nosných částí. Opětovnou kontrolu a dotažení šroubů doporučuji provést po měsíci provozu a následně každého půl roku.

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

5. Seznam použitých zdrojů



- [1] KAŠPÁREK, J.: Dopravní a manipulační zařízení, skripta VUT Brno 2002
- [2] DRAŽAN, F., KUPKA, L. a kol.: Transportní zařízení, SNTL Praha 1966
- [3] KLIMEŠ, P.: Části a mechanismy strojů I, CERM, 2003
- [4] GAJDŮŠEK, J.; ŠKOPÁN, M.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení, skripta VUT Brno, 1988
- [5] LEINVEBER, J.; VÁVRA, P.: Strojnické tabulky Albra Úvaly 2006
- [6] POKORNÝ, P.: Dopravní a manipulační zařízení-řešené příklady, skripta VUT Brno 2002
- [7] Katalog fy LOŽISKA DRAŠAR s.r.o. Komponenty pro stavbu válečkových dopravníků.
- [8] Katalog fy TRANZA; Catalogue EasyRun Rollers
- [9] Katalog fy INTERROLL GmbH; Förder- Rollen

6. Seznam použitých zkratk a symbolů

označení	název	jednotka
a	délka úseku I.	[m]
a_b	šířka břemene	[m]
b	délka úseku II.	[m]
c	délka úseku III.	[m]
d	vnitřní průměr válečku	[m]
d_1	průměr konce hřídele	[m]
d_2	průměr hřídele pro ložisko	[m]
$d_{\tilde{c}}$	vnitřní průměr náboje	[m]
e	součinitel valivého tření	[m]
f_c	součinitel čepového tření	[–]
g	gravitační konstanta	[m.s ⁻²]
k_1	počet válečků pod předmětem	[ks]
k_k	koeficient bezpečnosti	[–]
$m_{\tilde{c}}$	hmotnost náboje	[kg]
m_p	hmotnost předmětu	[kg]
m_{pl}	hmotnost pláště	[kg]
m_r	hmotnost rotujících částí válečku	[kg]
n_p	počet břemen na trati	[ks.]
r_c	poloměr čepu válečku v ložiscích	[m]
r_d	poloměr $\varnothing d_1$	[mm]
t	rozteč válečků na trati	[m]
v_0	rychlost předmětu na začátku dráhy	[m.s ⁻¹]
v_k	rychlost předmětu na konci dráhy	[m.s ⁻¹]
v_s	střední rychlost předmětu	[m.s ⁻¹]
x_d	hloubka zploštění $\varnothing d_1$	[mm]
x_1	vzdálenost těžiště břemene od středu levého ložiska	[m]
x_2	vzdálenost těžiště břemene od středu pravého ložiska	[m]
x_p	pomocný rozměr	[m]
x_z	přesah zábrany přes váleček	[m]
z	počet válečků na trati	[ks.]
z_u	délka úseku trati	[m]
B	délka válečku	[m]
D	velký průměr válečku	[m]
$D_{\tilde{c}}$	velký průměr náboje	[m]
$\vec{F}_1$	síla působící na levou stranu hřídele	[N]
$\vec{F}_2$	síla působící na pravou stranu hřídele	[N]

$\vec{F}_A$	síla působící v podpoře A	[N]
$\vec{F}_B$	síla působící v podpoře B	[N]
$\vec{G}_b$	síla vyvolaná hmotností břemene	[N]
$\vec{G}_v$	síla vyvolaná hmotností rotačních částí válečku	[N]
J	moment setrvačnosti rotujících částí válečku	[kg · m ⁻²]
L	délka trati	[m]
L_u	délka sekce tratě	[m]
$\vec{M}_o$	celkový ohybový moment	[N · m]
$M_{O_{kr1}}$	ohybový moment v prvním nebezpečném průřezu	[N · m]
$M_{O_{kr2}}$	ohybový moment v druhém nebezpečném průřezu	[N · m]
$\vec{M}_{o_I}$	moment působící v úseku I.	[N · m]
$\vec{M}_{o_{II}}$	moment působící v úseku II.	[N · m]
$\vec{M}_{o_{III}}$	moment působící v úseku III.	[N · m]
N	dopravní výkon	[ks · h ⁻¹]
R	poloměr válečku	[m]
S	plocha průřezu zploštěného konce hřídele	[mm ²]
S_1	plocha zploštění $\varnothing d_1$	[mm ²]
S_d	plocha průřezu $\varnothing d_1$	[mm ²]
W_1	odpor vlivem čepového a valivého tření	[N]
W_2	odpor vlivem najetí předmětu na váleček	[N]
$W_{O_{kr1}}$	modul průřezu $\varnothing d_1$	[m ³]
$W_{O_{kr2}}$	modul průřezu $\varnothing d_2$	[m ³]
α_1	koeficient prvního vrubu	[-]
α_2	koeficient druhého vrubu	[-]
β	úhel sklonu trati	[°]
ρ_{Fe}	měrná objemová hmotnost	[kg · m ⁻³]
$\sigma_{O_{dov}}$	dovolené napětí v ohybu	[MPa]
$\sigma_{O_{kr2}}$	ohybové napětí v druhém kritickém průřezu	[MPa]
$\sigma_{O_{kr1}}$	ohybové napětí v prvním kritickém průřezu	[MPa]
τ_s	napětí ve smyku	[MPa]
$\tau_{s_{dov}}$	dovolené napětí ve smyku	[MPa]
ω	úhlová rychlost válečku	[s ⁻¹]

7. Seznam příloh

0-K2-001

0-K2-001/A1

2-K2-001/A1-K1

3-K2-001/A1-K1-01

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

-výkres sestavy

-výkres sekce tratě

-výkres sestavy válečku

-výkres hřídele