

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institút dopravy

Návrh systému dopravnej trasy vo vodnej pieskovni
The Systems Design of Transport Line in Water Sand Pit

Študent:

Bc. Marián Minárik

Vedúci diplomovej práce:

Doc. Ing. Leopold Hrabovský, Ph.D.

Ostrava 201

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Marián Minárik**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství

Specializace: 35 Dopravní stroje a manipulace s materiálem

Téma: **Návrh systému dopravní trasy ve vodní pískovně**
The Systems Design of Transport Line in Water Sand Pit

Zásady pro vypracování:

- Proveďte rozbor a rešerši možných variant dopravy těživa ve vodní pískovně.
- Proveďte potřebné výpočty návrhu stability a plovatelnosti plovákového tělesa plovoucí pásové dopravní trasy.
- Proveďte potřebné technologické výpočty návrhu pásové dopravní trasy, pro maximální hodinový těžební výkon korečkového bagru $Q = 170$ t/hod.
- Proveďte konstrukční návrh sestavy plovoucí pásové dopravní trasy.

Seznam doporučené odborné literatury:

- 1) Polák, J., Slíva, A.: Dopravní a manipulační zařízení III. ES VŠB, 2005, 128 str.133, ISBN 80-248-0963-X.
- 2) Dražan, F., Kupka, L. a kol.: Transportní zařízení. SNTL, Praha 1966
- 3) Cvekl, Z., Janovský, L., Podivínský, V., Talacko, J.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení. ČVUT Praha, 1984.
- 4) Jeřábek, K.: Stroje a zařízení pro manipulaci. ES ČVUT Praha 1987.
- 5) Žádník, B.: Stavba a opravy lodí. Nakladatelství dopravy a spojů. Praha 1980.
- 6) Polák, J., Bailotti, K., Pavliska, J., Hrabovský, L.: Dopravní a manipulační zařízení II. ES VŠB, 2003, str.109, ISBN 80-248-0493-X.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Leopold Hrabovský, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Miestoprísahné prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som celú diplomovú prácu včetně príloh vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a uviedol som všetky použité podklady a literatúru.

V Ostrave 21.5. 2010


Marian Minárik
.....
podpis študenta

PREHLÁSENIE O VYUŽITÍ VÝSLEDKOV
DIPLOMOVEJ PRÁCE

Prehlasujem, že

- som bol oboznámený s tým, že na moju diplomovú prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Zb. – autorský zákon, hlavne § 35 – užitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a užitie diela školského a § 60 – školní dielo,
- beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB - TUO) má právo neziskovo ku svojej vnútornej potrebe diplomovú prácu užiť (§ 35 odst. 3),
- súhlasím s tým, že diplomová práca bude v elektronickej podobe uložená v Ústrednej knižnici VŠB - TUO k nahliadnutiu a jeden výtlačok bude uložený u vedúceho diplomovej práce. Súhlasím s tým, že údaje o kvalifikačnej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB - TUO,
- bolo zjednané, že s VŠB - TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzatvorím licenčnú zmluvu s oprávnením užiť dielo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,
- bolo zjednané, že užiť svoje dielo – diplomovú prácu alebo poskytnúť licenciu k jej využitiu môžem len so súhlasom VŠB - TUO, ktorá je oprávnená v takom prípade odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB - TUO na vytvorenie diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky),
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č. 111/1998 Zb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Ostrave: 21.5.2010


.....
podpis

Bc. Marián Minárik

Rozkvet 2076/161

Považská Bystrica, 017 01, SR

ANOTÁCIA DIPLOMOVEJ PRÁCE

MINÁRIK, M. Návrh systému dopravnej trasy vo vodnej pieskovni: diplomová práca.
Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojná, Inštitút
dopravy, 2010, 92 s. Vedúci práce: Hrabovský, L.

Hlavnou témou mojej diplomovej práce je návrh systému dopravnej trasy vo vodnej pieskovni, pre maximálny hodinový ťažobný výkon od korčekového bagra $Q = 170 \text{ t.hod}^{-1}$. Diplomová práca je členená na štyri časti. V úvode som podrobne priblížil problematiku ťažby piesku z priestoru pod hladinou spodnej vody. V ďalšej časti som konštrukčne navrhol plávajúci pásový dopravník pre dané parametre. Následne som konštrukčne navrhol plávajúce teleso s plavákmi valcového tvaru a pre toto teleso som skontroloval plávateľnosť a stabilitu, vrátane základných technologických výpočtov. Poslednou časťou je podrobný technický výkres plavákového telesa, ktorý tvorí prílohu mojej diplomovej práce.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

MINÁRIK, M. The Systems Design of Transport Line in Water Sand Pit: Master Thesis. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of transport, 2010, 92 p. Thesis head: Hrabovský, L.

The main theme of my thesis is the design of a water transport line in water sand pit to achieve the maximum hourly mining capacity of $Q = 170 \text{ t.hod}^{-1}$ chain-bucket dredger. The thesis is divided into four parts. In the beginning, I described the problematic of extracting sand from the area below the level of groundwater in detail. In the next part, I designed a floating belt conveyor for given parameters. I subsequently designed floating body with cylindrical shaped floats and I also controlled the buoyancy and stability of this body with the basic technology calculations included. The last part – the attachment of the thesis - consists of a detailed technical drawing of the float body.

OBSAH

ZOZNAM SKRATIEK.....	9
ZOZNAM POUŽITÝCH ZNAČIEK A SYMBOLOV.....	10
ÚVOD	17
1. ŤAŽBA HORNÍN VO VODNÝCH PIESKOVNICH.....	18
<i>1.1 Ťažobné zariadenia.....</i>	<i>18</i>
<i>1.1.1 Korčekové bagre.....</i>	<i>19</i>
<i>1.2 Úprava suroviny na plávajúcom ťažobnom zariadení.....</i>	<i>21</i>
<i>1.3 Vodná doprava naťaženej suroviny od korčekových bagrov</i>	<i>22</i>
<i>1.3.1 Prerušovaná doprava plavidlami</i>	<i>22</i>
<i>1.3.2 Doprava plávajúcimi pásovými dopravníkmi.....</i>	<i>23</i>
2. KONŠTRUKČNÝ NÁVRH DOPRAVNEJ TRASY PODĽA NORMY ČSN ISO 5048	27
<i>2.1 Vstupné hodnoty.....</i>	<i>27</i>
<i>2.2 Výpočet dopravnej trasy.....</i>	<i>27</i>
<i>2.2.1 Voľba rýchlosti pásu v $[m \cdot s^{-1}]$</i>	<i>27</i>
<i>2.2.2 Požadovaný prierez náplne pásu $S_p [m^2]$.....</i>	<i>27</i>
<i>2.2.3 Voľba šírky dopravného pásu $B [m]$ a výpočet náplne pásu $S [m^2]$.....</i>	<i>28</i>
<i>2.2.4 Porovnanie požadovaného a skutočného dopravného prierezu</i>	<i>31</i>
<i>2.2.5 Pohybové odpory pásového dopravníka.....</i>	<i>31</i>
<i>2.2.6 Hlavné odpory.....</i>	<i>32</i>
<i>2.2.7 Vedľajšie odpory.....</i>	<i>32</i>
<i>2.2.8 Návrh pohonu pásového dopravníka</i>	<i>34</i>
<i>2.2.9 Návrh bubnov.....</i>	<i>36</i>
<i>2.2.10 Návrh spojky</i>	<i>37</i>
<i>2.2.11 Kontrola dopravníka na rozbeh.....</i>	<i>38</i>
<i>2.2.12 Kontrola dopravovaného množstva</i>	<i>38</i>
<i>2.2.13 Kontrola dopravníka pri brzdení.....</i>	<i>39</i>
<i>2.2.14 Ťahy v dopravnom páse</i>	<i>40</i>
<i>2.2.15 Napínacia sila</i>	<i>40</i>
<i>2.2.16 Skutočné ťahy v dopravnom páse</i>	<i>40</i>
<i>2.2.17 Kontrola merného tlaku medzi dopravným pásom a bubnom</i>	<i>41</i>

2.2.18 Pevnostná kontrola dopravného pásu.....	41
2.3 Zhodnotenie konštrukčného návrhu dopravnej trasy	42
3. VÝPOČET PLÁVATEĽNOSTI A STABILITY PLAVÁKOVÉHO TELESA	45
3.1 Stabilita plavákového telesa valcovéh tvaru.....	45
3.1.1 Pozdĺžna stabilita plavákového telesa	51
3.1.2 Zhodnotenie stability plavákového telesa valcového tvaru proti prevráteniu.....	73
3.2 Zhodnotenie konštrukčného návrhu plavákového telesa.....	74
4. POTREBNÉ TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY	76
4.1 Výpočet čapového uloženia pásového dopravníka.....	76
4.1.1 Výpočet na šmyk.....	77
4.1.2 Výpočet na otláčenie	78
4.1.3 Výpočet na ohyb.....	80
4.2 Výpočet nosníka spojovacej konštrukcie pontónov	81
4.2.1 Veľkosť maximálneho priehybu nosníka.....	82
4.2.2 Výpočet ohybového napätia v nosníku.....	82
4.3 Výpočet zvarového spoja nosníka	83
ZÁVER	85
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	87
ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK	89
ZOZNAM VÝKRESOVEJ DOKUMENTÁCIE	91
ZOZNAM PRÍLOH	92

ZOZNAM SKRATIEK

a.s. – akciová spoločnosť

atd. – a tak ďalej

cca – približne

napr. – napríklad

s.r.o. – spoločnosť s ručením obmedzeným

tj. – to jest

tzn. – to znamená

tzv. – tak zvaný

vid' – pozri na

ZOZNAM POUŽITÝCH ZNAČIEK A SYMBOLOV

B	Šírka dopravného pása	[m]
D_B	Priemer bubna	[m]
E	Modul pružnosti v ťahu	[MPa]
F	Obvodová sila potrebná na hnacom bubne	[N]
F_{BV}	Odpor od bočného vedenia	[N]
F_C	Odpor od čističa pása	[N]
$F_{\check{c}}$	Sila pôsobiaca na 1 čap	[N]
F_{DOV}	Dovolená sila	[N]
F_{DV}	Sila potrebná na prekonanie dopravnej výšky	[N]
F_{FC}	Odpor ložísk bubna	[N]
F_H	Sila potrebná na prekonanie pohybových odporov dopravníka	[N]
F_{max}	Maximálna sila v dopravnom páse	[N]
F_N	Odpor v násypke	[N]
F_n	Sila pôsobiaca na 1 nosník	[N]
F_{ns}	Ťah v dopravnom páse v nabiehajúcej vetve	[N]
F_o	Obiehajúca sila	[N]
F_{OC}	Odpor ohybu pása na bubon	[N]
F_{os}	Ťah v dopravnom páse v odbiehajúcej vetve	[N]
F_{rA}	Reakčná sila od sily $F_{\check{c}}$	[N]
F_V	Vedľajší odpor	[N]
F_z	Napínacia sila	[N]
G	Celková hmotnosť plávajúcej otoče	[kg]
H	Prevýšenie	[m]
I_x	Kvadratický moment zotrvačnosti prierezu	[mm ⁴]
J_{B1}	Moment zotrvačnosti hnacieho bubna	[kg.m ²]
J_{B2}	Moment zotrvačnosti vratného bubna	[kg.m ²]
J_M	Moment zotrvačnosti motora	[kg.m ²]
J_P	Moment zotrvačnosti prevodovky	[kg.m ²]
J_S	Moment zotrvačnosti spojky	[kg.m ²]
K	Prevádzkový súčiniteľ	[-]

L	Dĺžka dopravníka	[m]
L ₁	Dĺžka spodného valčeka	[m]
L ₃ , L ₄	Dĺžka stredného valčeka	[m]
M _B	Brzdny moment	[Nm]
M _{B1}	Brzdny moment potrebný k zastaveniu dopravníka	[Nm]
M _{B2}	Brzdny moment potrebný k udržaniu dopravného pásu v kľude	[Nm]
M _{DM}	Dynamický moment záťaže	[Nm]
M _M	Menovitý moment elektromotora	[Nm]
M _{omax}	Maximálny ohybový moment čapu	[Nmm]
M _{onmax}	Maximálny ohybový moment nosníka	[Nmm]
M _S	Menovitý krútiaci moment spojky	[Nm]
M _{SM}	Skutočný moment motora	[Nm]
M _V	Výpočtový krútiaci moment spojky	[Nm]
O	Objem ponorenej časti oboch plavákov	[m ³]
O ₁	Objem ponorenej časti ľavého plaváka	[m ³]
O ₂	Objem ponorenej časti pravého plaváka	[m ³]
P	Potrebný prevádzkový výkon k pohonu pásového dopravníka	[kW]
P _M	Príkonný výkon elektromotora	[kW]
Q	Maximálny hodinový výkon od korčekového bagra	[t.h ⁻¹]
Q _{rozdiel}	Rozdiel dopravného množstva	[%]
Q _{vp}	Skutočný dopravný výkon	[t.h ⁻¹]
S	Súčet zanorených plôch S ₁ a S ₂	[m ²]
S ₁	Plocha zanorenej nárysnej časti ľavého plaváka	[m ²]
S ₂	Plocha zanorenej nárysnej časti pravého plaváka	[m ²]
S _a	Časť plochy prierezu materiálu pásového dopravníka	[m ²]
S _b	Časť plochy prierezu materiálu pásového dopravníka	[m ²]
S _č	Plocha čapu namáhaná šmykom	[mm ²]
S _{č1}	Odtlačovaná plocha v otočnej časti	[mm ²]
S _{č2}	Odtlačovaná plocha vidlice	[mm ²]
S _{np}	Plocha náplne pásu	[m ²]
S _P	Požadovaný prierez náplne pásu	[m ²]
S _p	Nárysná plocha plaváka s priemerom d	[m ²]

S_{pp}	Pôdorysná plocha plaváka	$[m^2]$
S_S	Celková skutočná plocha prierezu náplne pása	$[m^2]$
S_u	Nárysna plocha vynorenej časti plaváka	$[m^2]$
S_{u2}	Plocha vynorenej časti pravého plaváka	$[m^2]$
S_{zv}	Namáhaný prierez zvaru šmykom	$[mm^2]$
T_{max}	Maximálny ťah v dopravnom páse	$[N]$
V	Vztlaková sila	$[N]$
W_o	Modul prierezu v ohybe	$[mm^3]$
W_{on}	Modul prierezu v ohybe	$[mm^3]$
a	Pôdorysná šírka plávajúcej otoče	$[m]$
a_ξ	Rozmer čapového spoja	$[mm]$
a_n	Rameno pôsobiska sily	$[mm]$
a_{zv}	Hrúbka zvaru	$[mm]$
b	Využitelná ložná šírka pása	$[m]$
b_l	Zaplnená šírka pása	$[m]$
b_ξ	Rozmer čapového spoja	$[mm]$
b_N	Šírka násypky	$[m]$
b_n	Rameno pôsobiska sily	$[mm]$
c_{II}	Súčiniteľ zníženia napätia pre mŕjivé zaťaženie	$[-]$
c_{III}	Súčiniteľ zníženia napätia pre striedavé zaťaženie	$[-]$
d	Priemer plaváka	$[m]$
d_ξ	Priemer čapu	$[mm]$
d_h	Priemer horného valčeka	$[m]$
d_{min}	Minimálny priemer plaváka	$[m]$
d_s	Priemer spodného valčeka	$[m]$
e	Vzdialenosť ťažiska od stredu plaváka	$[m]$
e_1	Vzdialenosť ťažiska od stredu ľavého plaváka	$[m]$
e_2	Vzdialenosť ťažiska od stredu pravého plaváka	$[m]$
f	Globálny súčiniteľ pre dovrchnú dopravu	$[-]$
g	Gravitačné zrýchlenie	$[m.s^{-2}]$
h_G	Poloha ťažiska plávajúcej otoče	$[m]$
h_o	Poloha ťažiska otoče nad dnom plaváka	$[m]$
h_p	Hĺbka ponorenia plavákov v rovnovážnej polohe	$[m]$
h_{p1}	y-ová súradnica zanorenia ľavej časti ľavého plaváka	$[m]$

h_{p2}	y-ová súradnica zanorenia pravej časti ľavého plaváka	[m]
h_{p3}	y-ová súradnica zanorenia ľavej časti pravého plaváka	[m]
h_{p4}	y-ová súradnica zanorenia pravej časti pravého plaváka	[m]
h_{pdd}	Poloha pôsobiska polovice tiaže pásového dopravníka v spodnom uložení	[m]
h_{pdh}	Poloha pôsobiska polovice tiaže pásového dopravníka v hornom uložení	[m]
h_s	Výška hladiny	[m]
i_p	Výpočtový prevodový pomer prevodovky	[-]
i_{ps}	Prevodový pomer	[-]
k	Korekčný súčiniteľ dopadu materiálu na sklonenú plochu	[-]
k_1	Súčiniteľ korekcie vrcholku náplne pásu	[-]
k_b	Súčiniteľ súčinnosti elektromotora	[-]
k_B	Súčiniteľ bezpečnosti brzdy	[-]
k_{ζ}	Koeficient bezpečnosti	[-]
k_n	Koeficient bezpečnosti	[-]
k_s	Koeficient bezpečnosti	[-]
k_{ϕ}	Koeficient plnenia	[-]
l'	Dĺžka zvaru	[mm]
l_1	Vzdialenosť medzi plavákmi	[m]
l_B	Dĺžka bubna	[m]
l_{BV}	Dĺžka bočného vedenia	[m]
l_n	Dĺžka nosníka	[mm]
l_p	Dĺžka plaváka	[m]
l_{zv}	Výpočtová dĺžka zvaru	[mm]
m_{B1}	Hmotnosť hnacieho bubna	[kg]
m_{B2}	Hmotnosť vratného bubna	[kg]
m_{dm}	Maximálna hmotnosť dopravovaného materiálu	[kg]
m_o	Celková hmotnosť plávajúcej otoče	[kg]
m_p	Metrová hmotnosť pásu	[kg.m ⁻¹]
m'_p	Hmotnosť pásu	[kg.m ⁻²]
m_{pd}	Hmotnosť pásového dopravníka	[kg]
m_q	Hmotnosť dopravovaného materiálu	[kg.m ⁻¹]
m_v	Hmotnosť rotujúcich valčekov	[kg.m ⁻¹]

m_{vh}	Hmotnosť horného valčeka	[kg]
m_{vs}	Hmotnosť spodného valčeka	[kg]
n_B	Počet bŕzd	[-]
n_c	Počet čističov pásu	[-]
n_e	Počet elektromotorov	[-]
n_M	Menovité otáčky elektromotora	[ot.min ⁻¹]
n_P	Otáčky prevodovky	[ot.min ⁻¹]
n_{vh}	Počet valčekov v hornej vetve	[-]
n_{vs}	Počet valčekov v spodnej vetve	[-]
p	Merný tlak medzi dopravným pásom a bubnom	[MPa]
p_1	Výpočtový tlak v otočnej časti	[MPa]
p_2	Výpočtový tlak na vidlicu	[MPa]
p_{D1}	Dovolený tlak v otočnej časti	[MPa]
p_{D2}	Dovolený tlak na vidlicu	[MPa]
p_{DOV}	Dovolený tlak	[MPa]
t	Dĺžka tetivy	[m]
t_1	Rozteč valčekov v hornej vetve	[m]
t_{11}	Dĺžka tetivy ľavého plaváka	[m]
t_2	Rozteč valčekov v spodnej vetve	[m]
t_{22}	Dĺžka tetivy pravého plaváka	[m]
t_b	Doba brzdenia	[s]
t_r	Doba rozbehu	[s]
t_{zv}	Výška zvaru	[mm]
v	Rýchlosť dopravného pásu	[m.s ⁻¹]
v_{max}	Maximálne rameno stability	[m]
v_o	Počiatočná rýchlosť pásu	[m.s ⁻¹]
v_{sk}	Skutočná rýchlosť pásu	[m.s ⁻¹]
v_v	Rameno stability	[m]
x_1	Rozmer pre obr. 3.8	[m]
x_2	Rozmer pre obr. 3.8	[m]
x_3	Rozmer pre obr. 3.8	[m]
x_4	Rozmer pre obr. 3.8	[m]
x_5	Rozmer pre obr. 3.9	[m]
x_6	Rozmer pre obr. 3.9	[m]

x_7	Rozmer pre obr. 3.10	[m]
x_8	Rozmer pre obr. 3.11	[m]
x_9	Rozmer pre obr. 3.11	[m]
x_{p1}	x-ová súradnica zanorenia ľavej časti ľavého plaváka	[m]
x_{p2}	x-ová súradnica zanorenia pravej časti ľavého plaváka	[m]
x_{p3}	x-ová súradnica zanorenia ľavej časti pravého plaváka	[m]
x_{p4}	x-ová súradnica zanorenia pravej časti pravého plaváka	[m]
x_{T1}	Vzdialenosť ťažiska zanorenej plochy ľavého plaváka od priečnej osi	[m]
x_{T2}	Vzdialenosť ťažiska zanorenej plochy pravého plaváka od priečnej osi	[m]
x_{Tp2}	Vzdialenosť ťažiska celkovej plochy pravého plaváka od priečnej osi	[m]
x_{Tu2}	Vzdialenosť ťažiska vynorenej plochy pravého plaváka od priečnej osi	[m]
x_{v1}	x-ová súradnica ťažiska výtlaku v 1. fáze	[m]
x_{v2}	x-ová súradnica ťažiska výtlaku v 2. fáze	[m]
x_{v3}	x-ová súradnica ťažiska výtlaku v 3. fáze	[m]
y_1	Rozmer pre obr. 3.9	[m]
y_2	Rozmer pre obr. 3.11	[m]
y_{max}	Maximálny priehyb nosníka	[mm]
y_{T1}	Vzdialenosť ťažiska zanorenej plochy ľavého plaváka od dna valcového plaváka	[m]
y_{Tp2}	Vzdialenosť ťažiska celkovej plochy pravého plaváka od dna valcového plaváka	[m]
y_{Tu2}	Vzdialenosť ťažiska vynorenej plochy pravého plaváka od dna valcového plaváka	[m]
y_{v1}	y-ová súradnica ťažiska výtlaku v 1. fáze	[m]
y_{v2}	y-ová súradnica ťažiska výtlaku v 2. fáze	[m]
y_{v3}	y-ová súradnica ťažiska výtlaku v 3. fáze	[m]
α	Uhol naklonenia otoče	[°]
α_2	Uhol naklonenia otoče v 2. fáze	[°]
α_3	Uhol naklonenia otoče v 3. fáze	[°]
α_G	Uhol opásania	[rad]

α_{II}	Prevodný súčiniteľ pre určenie dovoleného napätia	[-]
α_{α}	Uhol pre obr. 3.8	[°]
β	Uhol v oblúkovej miere	[°]
δ	Uhol pre obr. 3.8	[°]
δ_{δ}	Uhol pre obr. 3.10	[°]
ε	Uhol sklonu dopravníka	[°]
$\varepsilon_{\varepsilon}$	Uhol pre obr. 3.10	[°]
η	Účinnosť poháňacej stanice	[-]
λ_{ν}	Uhol sklonu bočných valčekov	[°]
μ	Účinnosť opásania	[-]
μ_B	Súčiniteľ trenia medzi dopravovaným materiálom a bočným vedením	[-]
μ_{max}	Maximálna účinnosť poháňacej stanice	[-]
π	Konštanta Pí	[rad]
ρ_o	Hustota ocele	[kg.m ⁻³]
ρ_s	Sypná hmotnosť piesku	[kg.m ⁻³]
ρ_{ν}	Hustota vody	[kg.m ⁻³]
σ_{Dd}	Dovolené napätie v tlaku	[MPa]
σ_{Do}	Dovolené napätie v ohybe	[MPa]
σ_{Don}	Dovolené napätie v ohybe pre nosník	[MPa]
σ_{Dov}	Dovolené napätie v dopravnom páse	[MPa]
σ_{Dt}	Dovolené napätie v ťahu	[MPa]
σ_o	Dovolené napätie v ohybe	[MPa]
σ_{on}	Ohybové napätie v nosníku	[MPa]
σ_{Pt}	Medza pevnosti materiálu v ťahu	[MPa]
τ_{DS}	Dovolené šmykové napätie	[MPa]
τ_{Dzv}	Dovolené napätie zvaru na šmyk	[MPa]
τ_{II}	Výpočtové šmykové napätie v zvare	[MPa]
τ_s	Výpočtové napätie v šmyku	[MPa]
Ψ_{dyn}	Dynamický sypný uhol	[°]

ÚVOD

Priemyselná výroba a strojárské technológie napredujú veľmi rýchlo, preto sa hľadá široké uplatnenie modernizácie v celej oblasti manipulácie s materiálom. Aj napriek tomuto faktu, dochádza k poruchám, ktoré sú často spôsobené nesprávnou konštrukciou alebo montážou strojných častí.

Nerastné suroviny vo forme pieskov z priestoru pod hladinou spodnej vody sa ťažia pomocou ťažobných zariadení, tzv. plávajúcich bagrov. Do tejto skupiny technických plavidiel sú zaradené aj špeciálne zariadenia, tzv. plávajúce pásové dopravné trasy, zostavené z jednotlivých sekcií pásových dopravníkov.

Snaha o zníženie celkových ekonomických nákladov spojených s dopravou naťaženej suroviny na breh ťažobného jazera vedie k dokonalšej automatizácii procesu ťažby. Pri projektovaní automatizovaných technologických plavidiel je nutné doceliť požadované konštrukčné a rozmerové parametre, tak aby tieto zariadenia boli dostatočne stabilné a zabezpečovali plavebnú schopnosť v celej oblasti pôsobnosti.

Cieľom mojej diplomovej práce je návrh systému dopravnej trasy vo vodnej pieskovni. Dopravná trasa sa skladá z jednotlivých sekcií pásových dopravníkov a plavákových telies s pontónmi valcového tvaru. Návrh som konštruoval tak, aby sa minimalizovalo riziko plavebnej nehody na ťažobnom jazere.

V prvej kapitole diplomovej práce stručne popíšem ťažobné zariadenia využívané pri ťažbe piesku z priestoru pod hladinou spodnej vody. Podrobnejšie rozoberiem ťažbu pomocou korčekových bagrov a dopravu naťaženej suroviny od týchto bagrov pomocou plávajúcich pásových dopravníkov.

V nasledujúcich kapitolách konštrukčne navrhнем dopravnú trasu podľa normy ČSN ISO 5048 pre maximálny hodinový výkon $Q = 170 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ a skontrolujem plávateľnosť a stabilitu navrhnutého plavákového telesa, ktoré pozostáva z plavákov valcového tvaru.

Posledná kapitola bude venovaná základným technologickým výpočtom jednotlivých konštrukčných častí plavákového telesa.

Výstupom mojej diplomovej práce bude zostavný výkres dopravnej trasy a následne podrobný zostavný výkres plavákového telesa s kusovníkmi.

1. ŤAŽBA HORNÍN VO VODNÝCH PIESKOVNICH

Podľa geologických prieskumov sa väčšia časť ložísk nerastov nachádza pod hladinou spodnej vody. Vzhľadom k tomuto faktoru vznikol už v minulosti problém s dobývaním takto situovaných ložísk. Získavanie nerastu uloženého pod hladinou spodnej vody sa nazývalo vodným bagrovaním a išlo o komplex prác spojených s rozpojením, dopravou a skladovaním nerastu. V súčasnosti sa tieto operácie vykonávajú baníckym spôsobom s využitím ťažobných zariadení v prostredí s prítomnosťou vody. (1)

1.1 *ŤAŽOBNÉ ZARIADENIA*

Najjednoduchším spôsobom ťažby a ťažobnej činnosti spojeným s dobývaním nerastov bolo využitie stavebných strojov typu *podkopového bagra*.

Nie príliš vhodným riešením bolo k ťažobnej činnosti nerastov využitie *drapákového bagra s pásovým pojazdom a lanovou drapákovou lyžicou*, spustenou do ťažobného jazera zo skloneného výložníka.

Hádzací bager je špecializované zariadenie, ktoré koordinovaným pohybom otoče na pásovom podvozku vykonáva ťažobnú činnosť z brehu ťažobného jazera.

Škrabacie bagre sú taktiež situované na brehu ťažobného jazera. S obsahovo objemnejšou lyžicou manipulujú prostredníctvom ťažného a vratného lana s pomocou vratnej kladky, ktorá je ukotvená na protiláhlom brehu na plavákovom telese.

Už dokonalejším zariadením bol bager *s pásovým podvozkom a výložníkom s korčekovou reťazou*.

Postupným vývojom sa z týchto uvedených strojov vyvinuli moderné zariadenia, ktoré sa používajú dodnes.

V momente, keď sa jedná o ťažbu, ktorá vyžaduje prepravu naťaženého nerastu zvláštnym zariadením na breh jazera alebo vodného toku sú relevantnejšie *plávajúce ťažobné bagre*, alebo tiež *rýpadlá*. V týchto prípadoch sú ťažobné zariadenia umiestnené na plavidle, ktoré vzhľadom k špecifickým podmienkam vyžaduje zvláštne konštrukčné riešenie s vyššími nárokmi na jeho pevnosť a stabilitu. (1)

Ťažobné bagre sú vyberané so zreteľom na tieto podmienky ťažby: (1)

- druh nerastu
- požadovaný výkon
- hĺbka bagrovania
- druh a vzdialenosť dopravy ťažobného nerastu
- ostatné nesystémové podmienky (ekonomického rázu)

Ťažobné bagre rozdeľujeme na: (1)

- korčekové
- lyžicové
- drapákové
- sacie

1.1.1 Korčekové bagre

Korčekové bagre môžu ťažiť rozmanité materiály od mäkkých nánosov a usadenín až po mäkšie súvislé horniny s rozdielnou kusovitosťou jednotlivých zŕn. Tieto bagre môžu pracovať v obmedzenom priestore alebo na miestach s veľkou plavebnou prevádzkou, kde nie je možné umiestniť potrubie sacieho bagru. Dno vyhlbené korčekovým bagrom má presnejší profil a menšie nerovnosti. Výhodou korčekového bagru je aj rovnomernosť chodu stroja bez výrazných rázov do siete. (1)

Korčekové bagre rozdeľujeme na: (1)

- brehové (obr. 1.1)
- plávajúce

Brehový korčekový bager



Obr. 1.1 – Brehový korčekový bager, zdroj: www.alhozd.cz

Plávajúci korčekový bager

Plávajúci korčekový bager (obr. 1.2) je plávajúci stroj určený k ťažbe z vody na uzatvorených vodných plochách s pokojnou hladinou a v niektorých prípadoch určený aj k ťažbe na plynúcich vodných tokoch. V strednej Európe sa v štrkopieskoviach s vodnou ťažbou väčšinou ťaží týmito typmi ťažobných zariadení.

Základnou prevádzkovou vlastnosťou plávajúcich korčekových bagrov je plynulá ťažba pri rovnomernom výkone až do najvyššej dosiahnuteľnej hĺbky výskytu nerastu v danom ložisku. Ťažobná hĺbka je daná konštrukciou bagru a u najväčších veľkostí bagrov predstavuje 15 m. Materiál sa ťaží pomocou korčekov, ktoré sú mechanicky uchytané na pohybujúcich sa nekonečných kovaných reťaziach vedených po výložníku, ktorý je sčasti zanorený pod vodnú hladinu. Ťažený materiál, unášaný korčekmi, sa pri prechode po výložníku (lafete) nad vodnú hladinu samovoľne odvodňuje. Na oboch koncoch výložníka je umiestnený viacboký špeciálny robustný bubon (turas). Na spodnom konci výložníka je tento bubon päťboký a na výsype, vyššie zavesenom konci výložníka je štvorboký. Pri prechode jednotlivých korčekov cez horný turas sa vyťažený a čiastočne odvodnený materiál gravitačne vysypáva na šikmú sklzovú plochu, z ktorej je usmerňovaný na odťahový pásový dopravník.

Dopravný výkon pásového dopravníka je určený podľa veľkosti korčiekov, ktoré väčšinou dosahujú objem 50, 80, 150, 200, 250 dm³ a od rýchlosti pohybu korčiekových reťazí. U moderných pohonov týchto bagrov sú použité frekvenčné meniče, čím je možné meniť počet výsypaní plynu, podľa momentálnej potreby ťažby. (6)



Obr. 1.2 – Plávajúci korčkový bager, www.prosand.cz

1.2 ÚPRAVA SUROVINY NA PLÁVAJÚCOM ŤAŽOBNOM ZARIADENÍ

Naťažená surovina je v niektorých prípadoch na plávajúcom bagre čiastočne upravovaná. Úprava spočíva v odstránení ílových hrúd alebo v odtriedení nežiadúceho nadsitného materiálu, prípadne môže ísť o čiastočnú dehydratáciu na odvodňovacom triediči s nasadením hydrocyklonu pre udržanie maxima rozsahu zrnitosti v drobnom kamenive. Väčšinou sa však surovina prepravuje od bagra na breh bez úprav a je upravovaná až v úpravovni (odstránenie ílovitých podielov, triedenie, pranie, odlučovanie nežiaducich prímiesí, dehydratácia, skládkovanie atd.). (1)

1.3 VODNÁ DOPRAVA NAŤAŽENEJ SUROVINY OD KORČEKOVÝCH BAGROV

Existujú dve možnosti riešenia dopravy:

- prerušovaná (realizovaná plavidlami)
- plynulá (nepretržitá) realizovaná pásovými dopravníkmi

Hlavným kritériom pre výber varianty dopravy ťaženej suroviny od miesta ťažby na breh je vzdialenosť ťažby od brehu ťažobného jazera. Vzdialenosť ťažby od brehu je nutné predpokladať s ohľadom na dobu potrebnú k riadnemu vyťaženiu ložiska. (6)

1.3.1 Prerušovaná doprava plavidlami

Prerušovaná doprava realizovaná plavidlami, konkrétne nákladnými člnmi môže byť uskutočňovaná na vodných tokoch ale aj na uzatvorených vodných plochách pri ťažbe štrkopiesku. S obľubou sa využíva na ťažobnom jazere, ktoré vzniklo dobývaním štrkopiesku v prípadoch, keď medzi miestom ťažby plávajúcim bagrom a brehom, u ktorého je situovaná úpravovňa nie je príliš veľká vzdialenosť. (6)

Tento druh dopravy je potom zaisťovaný: (6)

- remorkérmi
 - ťažnými
 - tlačnými
- nákladnými člnmi (obr. 1.3)
 - samovýsypnými bez vlastného pohonu (ťažnými alebo tlačnými)
 - samovýsypnými s vlastným pohonom
 - s pevným dnom (s vlastným pohonom alebo bez pohonu)
 - samovykladacími s vlastným pohonom



Obr. 1.3 – Preprava piesku plavidlom, zdroj: www.skanska.cz

1.3.2 Doprava plávajúcimi pásovými dopravníkmi

Plávajúce pásové dopravníky je možné využívať k doprave vyťaženého štrkopiesku všetkými druhmi a typmi plávajúcich ťažobných bagrov. Sériovým zapojením niekoľkých plávajúcich pásových dopravníkov je možné vytvoriť dopravníkové trasy značných dĺžok. Tieto trasy sa používajú na vodných plochách do cca 30 ha. (6)

Plávajúce pásové dopravníky sa delia na:

- a) plávajúce dopravníky s pozdĺžnym plavákovým telesom
- b) plávajúce dopravníky s jednotlivými plavákovými telesami

a) Plávajúci pásový dopravník s pozdĺžnym plavákovým telesom (obr. 1.4)

Pásový dopravník je tvorený priebežnými plnoprofilmi a býva upevnený na plavákovom telese, ktoré je tvorené priebežnými plavákmi pod takmer celou dĺžkou dopravníka. Prierez plaváka môže byť rôzny, ale väčšinou sú plaváky vyrobené z veľkopriemerových trubiek rovnakého priemeru. Priemery hermeticky uzatvorených trubiek plavákového telesa sú väčšinou volené od 800 do 1100 mm podľa prevedenia dopravníka. Jednotlivé trubky o dĺžke 6 m, 8 m alebo aj 12 m plavákového telesa sú

opatrené vo svojich koncových častiach prírubami, ktorými sú svorníky spojené do celkovej dĺžky plavákového telesa.

Priečne sú trubky spojené robustnými nosníkmi, ktoré potom tvoria nosnú časť pre nadstavbové časti (vlastný dopravník, samostatne uložený pohon dopravníka, obslužná lávka, zábradlie, uchytenie nosných prvkov priebežnej kabeláže). Podstatou konštrukcie dopravníka sú dva priebežné valcované U – profily, na ktorých sú prichytené 3-valčekové stolice. Spodné valčeky sú uchytené na svorníkových držiakoch, ktoré sú upevnené na spodnej prírube priebežného profilu. Káble elektrickej inštalácie plávajúcej trasy a napájanie bagru bývajú uložené do korýt typu MARS a sú umiestnené buď na ľahkých portáloch priečne preklenujúcich dopravník alebo na bočnej strane dopravníka. Napínanie dopravného pásu je riešené pomocou uzlu dopravného pásu cez ďalší bubon.



*Obr. 1.4 – Plávajúci pásový dopravník s pozdĺžnym plavákovým telesom,
zdroj: vlastné foto*

Pásové dopravníky sú štandardne vybavené ďalším príslušenstvom ako napr. stieračmi dopravného pásu, bezpečnostnými krytmi, bezpečnostným lankom so spínačmi alebo senzorom rotačného pohybu.

Keďže plávajúce pásové dopravníky tohto typu sú robustné, bývajú navrhované pre dlhšie plávajúce trasy a pre väčšie prepravné výkony. Sú teda navrhované pre minimálnu šírku dopravného pásu 800 mm a s obojstrannou obslužnou lávkou.

Robustnosť poskytuje väčšiu stabilitu pri pohyboch trasy a pri nápore vetra a vln na ťažobnom jazere, ale na druhej strane spôsobuje horšiu manévrovateľnosť. (6)

b) Plávajúci pásový dopravník s jednotlivými plavákovými telesami

Plávajúci pásový dopravník s jednotlivými plavákovými telesami (obr. 1.5) je zložený z vlastného pásového dopravníka a plávajúcej otoče.

Vlastný pásový dopravník je tvorený priehradovým mostom. V podstate je riešený rovnako ako pásové dopravníky, používané v úpravovni štrkopiesku, odlišné je len pripojenie plávajúcej otoče na plavákové teleso. (6)

Vlastný pásový dopravník sa skladá z: (6)

- b) priehradovej ocelevej konštrukcie
- c) horných a spodných valčekov
- d) hnacieho a vratného bubna
- e) pohonu (elektromotor s prevodovkou)

Dopravný pás väčšinou nesú dve plavákové telesá. Plavákové teleso je tvorené minimálne dvoma plavákmi spojenými oceľovými profilmi do jedného plávajúceho celku. Každý z nich má na palube prielez, ktorým sa vykonávajú pravidelné kontroly tesnosti plaváka a neporušiteľnosti vnútorného protikorozného náteru a príležitostné kontroly hrúbky obšívky ultrazvukovým prístrojom.

Plavákové teleso býva najčastejšie konštruované ako dvojplavákové a každý z plavákov je rozdelený na viac komôr. Sú ale aj prípady použitia plavákových telies zostavených z jednokomorových plavákov.

Na plavákovom telese je upevnená malá oceľová konštrukcia v podobe kozlíka, ktorá nesie otočné uloženie – kĺb konca priehradovej konštrukcie dopravníka. Na obšívke plavákového telesa je vodoryska najväčšieho ponoru pri maximálnom zaťažení dopravníkového pásu.

Dopravníkové pásy s plávajúcimi otočmi tvoria sekcie, z ktorých je každá dlhá 20 až 30 m. Navzájom sú spojené kĺbom a môžu sa vo veľkom rozsahu uhlov vychýľovať do strán. Poháňacia stanica dopravníka je k hornej polovici otočného kĺbu pripevnená vodorovnými čapmi. Vratná a napínacia stanica naväzujúceho pásového dopravníka je k spojovacím profilom plavákového telesa tiež pripevnená vodorovnými čapmi. (6)



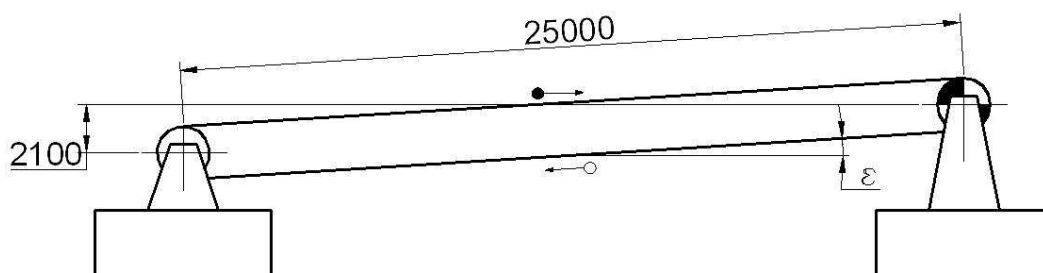
***Obr. 1.5** – Plávající pásový dopravník s jednotlivými plavákovými telesami,
zdroj: vlastní foto*

2. KONŠTRUKČNÝ NÁVRH DOPRAVNEJ TRASY PODĽA NORMY ČSN ISO 5048

2.1 VSTUPNÉ HODNOTY

Maximálny hodinový výkon od korčekového bagra	$Q = 170 \text{ t.h}^{-1}$
Prevýšenie	$H = 2,1 \text{ m}$
Dĺžka dopravníka	$L = 25 \text{ m}$
Uhol sklonu dopravníka	$\varepsilon = 4,8^\circ$
Sypná hmotnosť piesku (kopaný, vlhký)	$\rho_s = 1850 \text{ kg.m}^{-3}$

Pásový dopravník je určený na dopravu vlhkého piesku od korčekového bagra v externých a veľmi agresívnych podmienkach. Doprava piesku je smerom k pohonu.



Obr. 2.1 - Schéma sekcie plávajúceho pásového dopravníka, zdroj: vlastný náčrt

2.2 VÝPOČET DOPRAVNEJ TRASY (5)

2.2.1 Voľba rýchlosti pásu v [m.s⁻¹]

S ohľadom na dopravované hmoty, prevádzkové podmienky a technologické požiadavky volím rýchlosť pásu $v = 1.1 \text{ m.s}^{-1}$

2.2.2 Požadovaný prierez náplne pásu S_p [m²]

$$S_p = \frac{Q}{3,6 \cdot k_\phi \cdot \rho_s \cdot v} = \frac{170}{3,6 \cdot 0,7 \cdot 1850 \cdot 1,1} = \underline{\underline{0,03315 \text{ m}^2}} \quad (2.1)$$

kde je:

k_ϕ [-] – koeficient plnenia $\in \langle 0,7;0,9 \rangle$

volím $k_\phi = 0,7$

2.2.3 Vol'ba šírky dopravného pásu B [m] a výpočet náplne pásu S [m²]

Pre dopravnú trasu vo vodnej pieskovni s ohľadom na hodinový ťažobný výkon volím *trojvalčekové usporiadanie* (obr. 2.2).

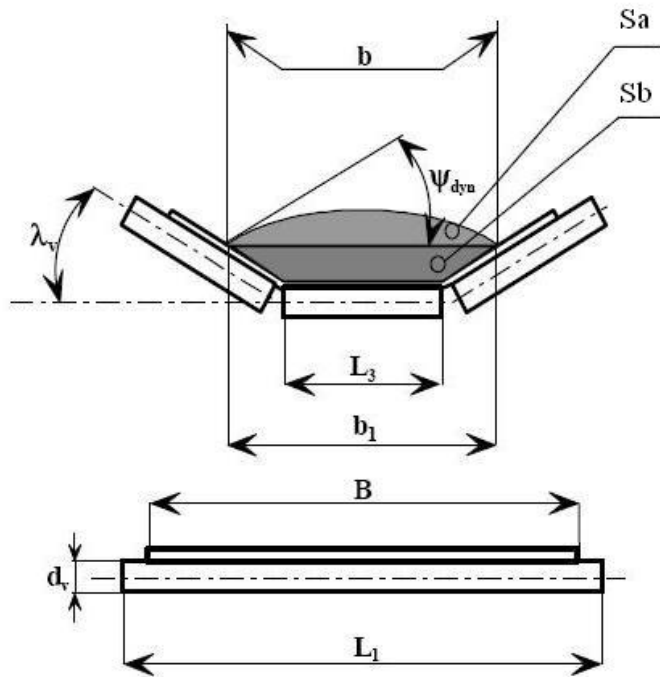
Volím dopravný pás firmy **MATADOR EP 400/3**.

Textilná kostra je zložená z vložiek, ktoré sú z polyesterových vlákien v kombinácii s polyamidovými (EP) vláknami s ochranným gumovým okrajom.

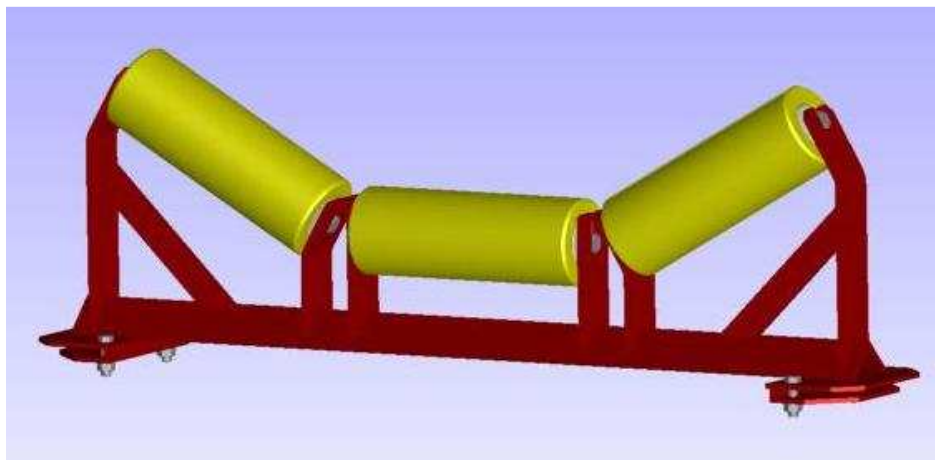
katalóg výrobkov: **Matador (Conveyor Belts)**

Šírka pásu	$B = 0,65 \text{ m}$
Hmotnosť pásu	$m'_p = 3,4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$
Metrová hmotnosť pásu	$m_p = 2,21 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$
Priemer horného valčeka	$d_h = 0,089 \text{ m}$
Priemer spodného valčeka	$d_s = 0,089 \text{ m}$
Dĺžka spodného valčeka	$L_1 = 0,75 \text{ m}$
Dĺžka stredného valčeka	$L_3, L_4 = 0,25 \text{ m}$
Hmotnosť spodného valčeka	$m_{vs} = 6,7 \text{ kg}$
Hmotnosť horného valčeka	$m_{vh} = 2,7 \text{ kg}$
Uhol sklonu bočných valčekov	$\lambda_v = 30^\circ$
Dynamický sypný uhol pre mokrý piesok	$\psi_{\text{dyn}} = 12^\circ$

Hornú a spodnú valčekovú stolicu volím z katalógu firmy **TRANZA a.s.** (obr. 2.3).



Obr. 2.2 – Trojvalčekové usporiadanie dopravnej trasy, zdroj: vlastný náčrt



Obr. 2.3 – Horná stolica pásového dopravníka (projektový model), zdroj: vlastný model

Skutočný prierez náplne pásu

Využitelná ložná šírka pásu

$$b = 0,9 \cdot B - 0,05$$

$$b = 0,9 \cdot 0,65 - 0,05$$

(2.2)

$$b = \underline{\underline{0,535 \text{ m}}}$$

$$b_1 = b \cdot \cos \lambda_v + L_3 \cdot (1 - \cos \lambda_v)$$

$$b_1 = 0,535 \cdot \cos 30^\circ + 0,25 \cdot (1 - \cos 30^\circ) \quad (2.3)$$

$$b_1 = \underline{\underline{0,497 \text{ m}}}$$

Celková plocha prierezu náplne pása

$$S_a = \frac{1}{6} \cdot b_1^2 \cdot \operatorname{tg} \psi_{dyn}$$

$$S_a = \frac{1}{6} \cdot 0,497^2 \cdot \operatorname{tg} 12^\circ \quad (2.4)$$

$$S_a = \underline{\underline{0,00875 \text{ m}^2}}$$

$$S_b = \frac{1}{4} \cdot (b_1^2 - L_3^2) \cdot \operatorname{tg} \lambda_v$$

$$S_b = \frac{1}{4} \cdot (0,497^2 - 0,25^2) \cdot \operatorname{tg} 30^\circ \quad (2.5)$$

$$S_b = \underline{\underline{0,02663 \text{ m}^2}}$$

$$S_{np} = S_a + S_b$$

$$S_{np} = 0,00875 + 0,02663 \quad (2.6)$$

$$S_{np} = \underline{\underline{0,03535 \text{ m}^2}}$$

Dopravovaný piesok je podávaný na sklonenú časť dopravného pása, preto je nutné S násobiť korekčným súčiniteľom. Pre idealizovaný chod dopravníka dopravujúceho čiastočne triedenú hmotu môžeme predpokladať, že súčiniteľ korekcie vrcholku náplne pása k_1 je daný vzťahom.

$$k_1 = \sqrt{\frac{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \psi_{dyn}}{1 - \cos^2 \psi_{dyn}}}$$

$$k_1 = \sqrt{\frac{\cos^2 4,8^\circ - \cos^2 12^\circ}{1 - \cos^2 12^\circ}} \quad (2.7)$$

$$k_1 = \underline{\underline{0,91538}}$$

Korekčný súčiniteľ dopadu materiálu na sklonenú plochu

$$k = 1 - \frac{S_a}{S_{np}} \cdot (1 - k_1)$$
$$k = 1 - \frac{0,00875}{0,03535} \cdot (1 - 0,91538) \quad (2.8)$$
$$k = \underline{\underline{0,97907}}$$

Celková skutočná plocha prierezu náplne pásu

$$S_s = k \cdot S_{np}$$
$$S_s = 0,97907 \cdot 0,03535 \quad (2.9)$$
$$S_s = \underline{\underline{0,03461 \text{ m}^2}}$$

2.2.4 Porovnanie požadovaného a skutočného dopravného prierezu

$$S_s \geq S_p \quad (2.10)$$
$$0,03461 \geq 0,03315 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

2.2.5 Pohybové odpory pásového dopravníka

Stanovenie hlavných odporov vychádza zo zaťaženia pásového dopravníka. Toto zaťaženie je spôsobované hmotnosťou dopravovaného materiálu, hmotnosťou dopravného pásu a hmotnosťou rotujúcich častí dopravníka (valčekov) pripadajúcu na 1 m dĺžky dopravníka.

Hmotnosť dopravovaného materiálu

$$m_q = \frac{Q}{3,6 \cdot v} = \frac{170}{3,6 \cdot 1,1} = \underline{\underline{42,93 \text{ kg/m}}} \quad (2.11)$$

Hmotnosť rotujúcich valčekov

$$m_v = \frac{m_{vh} \cdot n_{vh}}{t_1} + \frac{m_{vs} \cdot n_{vs}}{t_2} = \frac{4,5 \cdot 3}{1} + \frac{11 \cdot 1}{2,5} = \underline{\underline{24,5 \text{ kg/m}}} \quad (2.12)$$

kde je:

t_1 [m] – rozteč valčekov v hornej vetve volím $t_1 = \underline{\underline{1 \text{ m}}}$

t_2 [m] – rozteč valčekov v spodnej vetve $t_2 = (2 \div 3) \cdot t_1 = 2,5 \cdot 1 = \underline{\underline{3 \text{ m}}}$ (2.13)

n_{vh} [-] – počet valčekov v hornej vetve

n_{vs} [-] – počet valčekov v spodnej vetve

2.2.6 Hlavné odpory

Sila potrebná na prekonanie pohybových odporov dopravníka

$$F_H = f \cdot L \cdot g \cdot ((m_q + 2 \cdot m_p) \cdot \cos \varepsilon + m_v)$$
$$F_H = 0,02 \cdot 25 \cdot g \cdot ((42,93 + 2 \cdot 2,21) \cdot \cos 4,8^\circ + 14,8) \quad (2.14)$$

$$F_H = \underline{\underline{304,03 \text{ N}}}$$

kde je:

f [-] – globálny súčiniteľ pre dovrchnú dopravu $\in \langle 0,018; 0,025 \rangle$ volím $f = 0,02$

Sila potrebná na prekonanie dopravnej výšky

$$F_{DV} = m_q \cdot H \cdot g$$
$$F_{DV} = 42,93 \cdot 2,1 \cdot 9,81 \quad (2.15)$$

$$F_{DV} = \underline{\underline{884,4 \text{ N}}}$$

2.2.7 Vedľajšie odpory

$$F_V = F_N \cdot F_{OC} \cdot F_{FC} \cdot F_C \cdot F_{BV} \quad (2.16)$$

kde je:

F_N [N] – odpor v násypke

F_{OC} [N] – odpor ohybu pásu na bubon $\in \langle 100 \div 250N \rangle$ volím $F_{OC} = 150 \text{ N}$

F_{FC} [N] – odpor ložísk bubna $\in \langle 50 \div 150N \rangle$ volím $F_{FC} = 100 \text{ N}$

F_C [N] – odpor od čističa pásu

F_{BV} [N] – odpor od bočného vedenia

$$F_N = m_q \cdot v \cdot (v - v_o) \cdot \left[1 + \frac{1000 \cdot m_q}{\rho_s \cdot b_N^2} \cdot \left(1 + \frac{v_o}{v} \right) \right]$$
$$F_N = 42,93 \cdot 1,1 \cdot (1,1 - 0) \cdot \left[1 + \frac{1000 \cdot 42,93}{1850 \cdot 0,5^2} \cdot \left(1 + \frac{0}{1,1} \right) \right] \quad (2.17)$$

$$F_N = \underline{\underline{4873 \text{ N}}}$$

kde je:

v_o [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] – zložka rýchlosti dopravovanej hmoty v smere pohybu pásu $v_o = 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

b_N [m] – šírka násypky

$$F_C = n_C \cdot 30 \cdot B \cdot g$$

$$F_C = 2 \cdot 30 \cdot 0,65 \cdot 9,81 \quad (2.18)$$

$$F_C = \underline{\underline{381,6 \text{ N}}}$$

kde je:

n_C [-] – počet čističov pásu

volím $n_C = 2$

$$F_{BV} = \frac{\mu_B \cdot m_q^2 \cdot g \cdot l_{BV}}{\rho_s \cdot b_1^2}$$

$$F_{BV} = \frac{0,6 \cdot 42,93^2 \cdot 9,81 \cdot 1,5}{1850 \cdot 0,497^2} \quad (2.19)$$

$$F_{BV} = \underline{\underline{35,6 \text{ N}}}$$

kde je:

l_{BV} [m] – dĺžka bočného vedenia

b_1 [m] – ložná šírka pásu

μ_B [-] – súčiniteľ trenia medzi dopravovaným materiálom a bočným vedením

$$\mu_B [-] \in \langle 0,5; 0,7 \rangle$$

volím $\mu_B = 0,6$

$$F_V = F_N + F_{OC} + F_{FC} + F_C + F_{BV}$$

$$F_V = 4873 + 150 + 100 + 382,6 + 35,6 \quad (2.20)$$

$$F_V = \underline{\underline{5541,2 \text{ N}}}$$

Obvodová sila potrebná na hnacom bubne

$$F = F_H + F_{DV} + F_V$$

$$F = 304 + 884,4 + 5541,2$$

$$F = \underline{\underline{6729,6 \text{ N}}}$$

(2.21)

2.2.8 Návrh pohonu pásového dopravníka

Potrebný prevádzkový výkon pohonu pásového dopravníka

$$P = k_b \cdot \frac{F \cdot v}{1000 \cdot \eta}$$
$$P = 1,1 \cdot \frac{6729,6 \cdot 1,1}{1000 \cdot 0,95}$$
$$P = \underline{\underline{8,57 \text{ kW}}}$$
(2.22)

kde je:

k_b [-] – súčiniteľ súčinnosti elektromotora $\in \langle 1,1; 1,22 \rangle$ volím $k_b = 1,1$

η [-] – účinnosť poháňacej stanice $\in \langle 0,85; 0,95 \rangle$ volím $\eta = 0,95$

Určenie príkonu jedného elektromotora

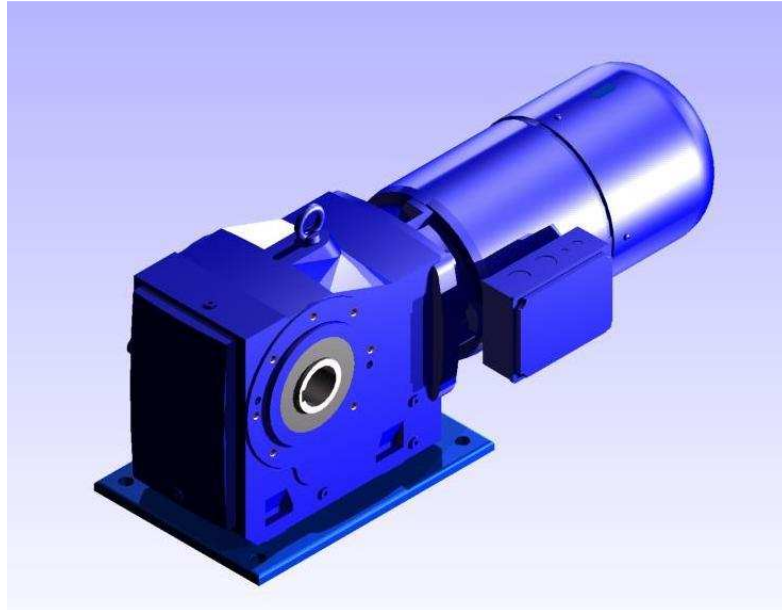
$$P_M \geq \frac{P}{n_e} \Rightarrow P_M \geq \frac{8,57}{1} = \underline{\underline{8,57 \text{ kW}}}$$
(2.23)

kde je:

n_e [-] – počet elektromotorov volím $n_e = 1$

Volím trojfázový asynchrónny brzdený motor s kotvou nakrátko s integrovanou kotúčovou brzdou budenou jednosmerným prúdom.

Motor je kombinovaný s kužeľočelnou prevodovkou **SK9042.1 - 132M4 Bre60**.
katalóg výrobkov: **NORD** (obr. 2.4).



Obr. 2.4 – 3D model SK 9042.1 – 132M 4 Bre 60, zdroj: www.nord.com

Menovitý výkon elektromotora:	$P_M = 9,2 \text{ kW}$
Menovité otáčky elektromotora:	$n_M = 1000 \text{ ot/min}$
Otáčky převodovky:	$n_P = 20 \text{ ot/min}$
Moment zotrvačnosti elektromotora:	$J_M = 0,05 \text{ kg.m}^2$
Moment zotrvačnosti převodovky:	$J_P = 0,008 \text{ kg.m}^2$
Převodový poměr:	$i_{ps} = 18$

Výpočtový převodový poměr převodovky

$$i_p = \frac{n_M}{60 \cdot v} \cdot \pi \cdot D_B$$

$$i_p = \frac{1000}{60 \cdot 1,1} \cdot \pi \cdot 0,315 \tag{2.24}$$

$$i_p = \underline{\underline{15}}$$

Menovitý moment elektromotora

$$M_M = 9,55 \cdot \frac{P_M}{n_M}$$

$$M_M = 9,55 \cdot \frac{9200}{1000} \tag{2.25}$$

$$M_M = \underline{\underline{87,86 \text{ Nm}}}$$

2.2.9 Návrh bubnov

Poháňací bubon

Priemer bubna D

$$D_B = 315 \text{ mm}$$

Hmotnosť

$$m_{B1} = 129,4 \text{ kg}$$

Moment zotrvačnosti bubna

$$J_{B1} = \frac{\pi \cdot (D_{B1}^4 - d_{B1}^4) \cdot l_B \cdot \rho_o}{32}$$
$$J_{B1} = \frac{\pi \cdot (0,315^4 - 0,285^4) \cdot 0,75 \cdot 7850}{32} \quad (2.26)$$

$$J_{B1} = \underline{\underline{1,87 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}}$$

Vratný bubon

Priemer bubna D

$$D_B = 315 \text{ mm}$$

Hmotnosť

$$m_{B2} = 95,4 \text{ kg}$$

Moment zotrvačnosti bubna

$$J_{B2} = \frac{\pi \cdot (D_{B2}^4 - d_{B2}^4) \cdot l_B \cdot \rho_o}{32}$$
$$J_{B2} = \frac{\pi \cdot (0,315^4 - 0,295^4) \cdot 0,75 \cdot 7850}{32} \quad (2.27)$$

$$J_{B2} = \underline{\underline{1,31 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}}$$

kde je:

ρ_o [kg.m⁻³] – hustota ocele

2.2.10 Návrh spojky

Prenášaný krútiaci moment

$$M_s = \frac{P_M}{2 \cdot \pi \cdot n_p}$$
$$M_s = \frac{9200}{2 \cdot \pi \cdot 20} \quad (2.28)$$
$$M_s = \underline{\underline{73,2 \text{ Nm}}}$$

Výpočtový krútiaci moment spojky

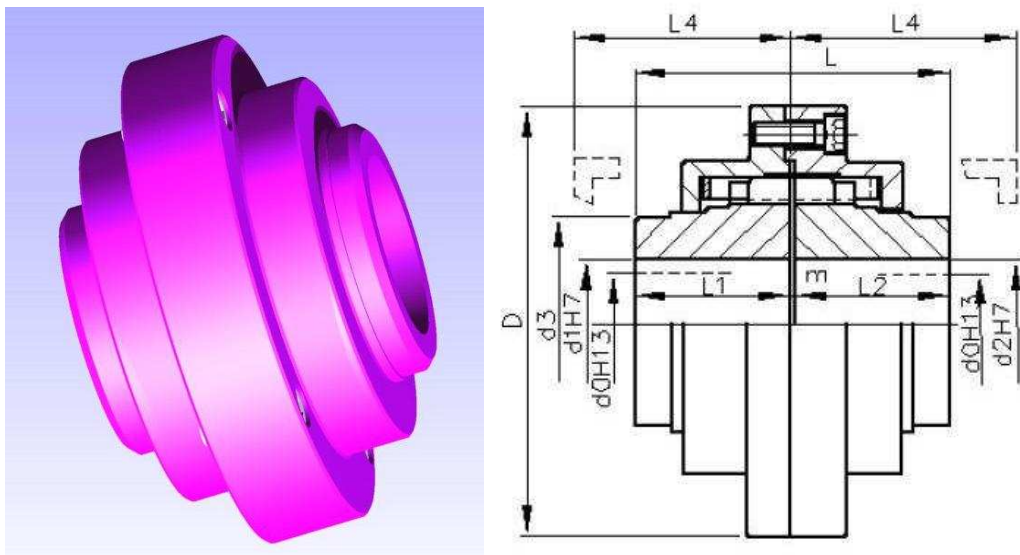
$$M_v = K \cdot M_s$$
$$M_v = 2,6 \cdot 73,2 \quad (2.29)$$
$$M_v = \underline{\underline{190,3 \text{ Nm}}}$$

kde je:

K [-] – prevádzkový súčiniteľ $\in \langle 2,6 \div 3,2 \rangle$ volím K = 2,6

M_s [Nm]– menovitý krútiaci moment hnacieho stroja

Medzi prevodovku a poháňací bubon volím pružnú spojku **VPS 0,03** z katalógu firmy **PSP Pohony**. Moment zotrvačnosti spojky: $J_s = 0,015 \text{ kg.m}^2$ (obr. 2.5).



Obr. 2.5 – Pružná spojka VPS 0,03 (projektový model) - vľavo, zdroj: vlastný model
Pružná spojka VPS 0,03 (schéma) – vpravo, zdroj: www.pohony.cz

2.2.11 Kontrola dopravníka na rozbeh

$$M_{SM} = \frac{1}{n_e} \cdot F \cdot 0,5 \cdot D_B \cdot \frac{1}{\eta \cdot i_{ps}}$$
$$M_{SM} = 1 \cdot 6729,6 \cdot 0,5 \cdot 0,315 \cdot \frac{1}{0,95 \cdot 18} \quad (2.30)$$

$$M_{SM} = \underline{\underline{61,98 \text{ Nm}}}$$

$$M_{SM} < M_M \Rightarrow 61,98 < 87,86 \Rightarrow \text{POHON VYHOVUJE} \quad (2.31)$$

$$t_r [\text{s}] - \text{doba rozbehu} \in \langle 5; 15 \rangle \quad \text{volím } t_r = 5 \text{ s}$$

2.2.12 Kontrola dopravovaného množstva

Skutočná rýchlosť pásu

$$v_{sk} = \frac{i_p}{i_{ps}} \cdot v = \frac{15}{18} \cdot 1,1 = \underline{\underline{0,916 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}} \quad (2.32)$$

Skutočný dopravný výkon

$$Q_{vp} = 3,6 \cdot S_s \cdot k_\varphi \cdot \rho_s \cdot v$$
$$Q_{vp} = 3,6 \cdot 0,03461 \cdot 0,7 \cdot 1850 \cdot 1,1 \quad (2.33)$$

$$Q_{vp} = \underline{\underline{177,48 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}}}$$

Kontrola dopravného výkonu

$$Q_{rozdiel} = \left(1 - \frac{Q}{Q_{vp}} \right) \cdot 100$$
$$Q_{rozdiel} = \left(1 - \frac{1200}{1239,1} \right) \cdot 100 \quad (2.34)$$

$$Q_{rozdiel} = \underline{\underline{4,217 \%}}$$

Prepočítaná hodnota dopravného množstva nepresiahla povolenú hodnotu 5 %, preto sú zvolené komponenty *vyhovujúce*.

2.2.13 Kontrola dopravníka pri brzdení

Dynamický moment zát'aže

$$M_{DM} = \left[\begin{array}{l} (m_Q + 2 \cdot m_p + m_v) \cdot L \cdot 0,5 \cdot D_b \cdot \frac{1}{\eta \cdot i_{ps}} + \frac{2 \cdot \sum J_B}{D_B} \cdot \frac{1}{\eta \cdot i_{ps}} \\ + n_e \cdot \frac{2 \cdot (J_P + J_S + J_M)}{D_B \cdot \eta} \end{array} \right] \cdot \frac{v_{sk}}{t_b} \quad (2.35)$$

$$M_{DM} = \left[\begin{array}{l} (42,93 + 2 \cdot 2,21 + 14,8) \cdot 25 \cdot 0,5 \cdot 0,315 \cdot \frac{1}{0,95 \cdot 18} \\ + \frac{2 \cdot (1,87 + 1,31)}{0,315} \cdot \frac{1}{0,95 \cdot 18} + 1 \cdot \frac{2 \cdot (0,008 + 0,015 + 0,05)}{0,315 \cdot 0,95} \end{array} \right] \cdot \frac{0,916}{5}$$

$$M_{DM} = \underline{\underline{2,919 \text{ Nm}}}$$

kde je:

μ_{\max} [-] – maximálna účinnosť poháňacej stanice $\in \langle 0,95; 1 \rangle$

volím $\mu_{\max} = 0,95$

k_B [-] – súčiniteľ bezpečnosti brzdy $\in \langle 1,3; 2,1 \rangle$

volím $k_B = 1,3$

n_B [-] – počet brzd

volím $n_B = 1$

t_b [s] – doba brzdenia dopravníka

volím $t_b = 5 \text{ s}$

Brzdny moment potrebný k zastaveniu dopravníka

$$M_{B1} = \frac{1}{n_B} \cdot \left[M_{DM} - (0,7 \cdot F_H + F_{DV} + F_V) \cdot 0,5 \cdot D_B \cdot \frac{\mu_{\max}}{i_{ps}} \right] \cdot k_B \quad (2.36)$$

$$M_{B1} = \frac{1}{1} \cdot \left[2,919 - (0,7 \cdot 304 + 884,4 + 5541,2) \cdot 0,5 \cdot 0,315 \cdot \frac{0,95}{18} \right] \cdot 1,3$$

$$M_{B1} = \underline{\underline{-67,94 \text{ Nm}}}$$

Brzdny moment potrebný k udržaniu dopravného pásu v kľude

$$M_{B2} = \frac{1}{n_B} \cdot \left[(-0,7 \cdot F_H + |F_{DV}| - F_V) \cdot 0,5 \cdot D_B \cdot \frac{\mu_{\max}}{i_{ps}} \right] \cdot k_B$$

$$M_{B2} = \frac{1}{1} \cdot \left[(-0,7 \cdot 304 + |884,4| - 5541,2) \cdot 0,5 \cdot 0,315 \cdot \frac{0,95}{18} \right] \cdot 1,3 \quad (2.37)$$

$$M_{B2} = \underline{\underline{-52,6 \text{ Nm}}}$$

Záporná hodnota znamená, že dopravný pás sa v kľudovej polohe nemôže rozbehnúť.

Kontrola brzdy

$$\begin{aligned} M_{B1} \text{ i } M_{B2} &\leq M_B \\ -67,94 &\leq 60 \geq -52,6 \end{aligned} \quad (2.38)$$

Zvolená integrovaná bezpečnostná kotúčová brzda *vyhovuje* podmienke

2.2.14 Ťahy v dopravnom páse

$$F_{\max} = F \cdot k_s = 6729,6 \cdot 1,3 = \underline{\underline{8748,5 \text{ N}}} \quad (2.39)$$

$$\begin{aligned} F_o &\geq F_{\max} \cdot \frac{1}{e^{\mu \cdot \alpha_G} - 1} \\ F_o &\geq 8748,5 \cdot \frac{1}{e^{0,43 \cdot 1416} - 1} \end{aligned} \quad (2.40)$$

$$F_o \geq \underline{\underline{3480,7 \text{ N}}} \Rightarrow \text{volím } F_o = 3600 \text{ N}$$

kde je:

k_s [-] – koeficient bezpečnosti volím $k_s = 1,3$

α_G [rad] – uhol opásania volím $\alpha_G = \pi$

μ [-] – účinnosť opásania volím $\mu = 0,4$

2.2.15 Napínacia sila

Doprava smerom k pohonu

$$\begin{aligned} F_z &\geq 2 \cdot (F_o - m_p \cdot L \cdot g \cdot \sin \varepsilon) \\ F_z &\geq 2 \cdot (3600 - 2,21 \cdot 25 \cdot 9,81 \cdot \sin 4,8^\circ) \\ F_z &\geq \underline{\underline{7109,3 \text{ N}}} \Rightarrow \text{volím } F_z = 7500 \text{ N} \end{aligned} \quad (2.41)$$

2.2.16 Skutočné ťahy v dopravnom páse

Ťah v dopravnom páse v odbiehajúcej vetve

$$\begin{aligned} F_{os} &= 0,5 \cdot F_z + m_p \cdot L \cdot g \cdot \sin \varepsilon_c \\ F_{os} &= 0,5 \cdot 7500 + 2,21 \cdot 25 \cdot 9,81 \cdot \sin 4,8^\circ \\ F_{os} &= \underline{\underline{3795,4 \text{ N}}} \end{aligned} \quad (2.42)$$

Ťah v dopravnom páse v nabiehajúcej vetve

$$F_{ns} = 0,5 \cdot F_z + F + m_p \cdot L \cdot g \cdot \sin \varepsilon$$
$$F_{ns} = 0,5 \cdot 7500 + 6729,6 + 2,21 \cdot 25 \cdot 9,81 \cdot \sin 4,8^\circ \quad (2.43)$$

$$F_{ns} = \underline{\underline{10525 \text{ N}}}$$

2.2.17 Kontrola merného tlaku medzi dopravným pásom a bubnom

$$p = \frac{F_{ns} + F_{os}}{D_B \cdot B} \cdot 10^{-6} \quad (2.44)$$

$$p = \frac{10525 + 3795,4}{0,315 \cdot 0,65} \cdot 10^{-6}$$

$$p = \underline{\underline{0,06994 \text{ MPa}}}$$

$$p = \frac{F_{ns} + F_{os}}{D_B \cdot B} \cdot 10^{-6} \quad (2.45)$$

$$p = \frac{10525 + 3795,4}{0,315 \cdot 0,65} \cdot 10^{-6}$$

$$p = \underline{\underline{0,06994 \text{ MPa}}}$$

$$p_{DOV} = 0,15 \text{ MPa}$$

$$p < p_D \quad (2.46)$$

$$0,06994 \leq 0,15 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

2.2.18 Pevnostná kontrola dopravného pása

$$F_{DOV} = \sigma_{DOV} \cdot B \geq T_{\max} \quad (2.47)$$

$$T_{\max} = F_{ns} = 10525 \text{ N}$$

$$F_{DOV} = 40 \cdot 650 = 26000 \text{ N}$$

$$26000 \geq 10525$$

Dopravný pás vydrží dané zaťaženie.

2.3 ZHODNOTENIE KONŠTRUKČNÉHO NÁVRHU DOPRAVNEJ TRASY

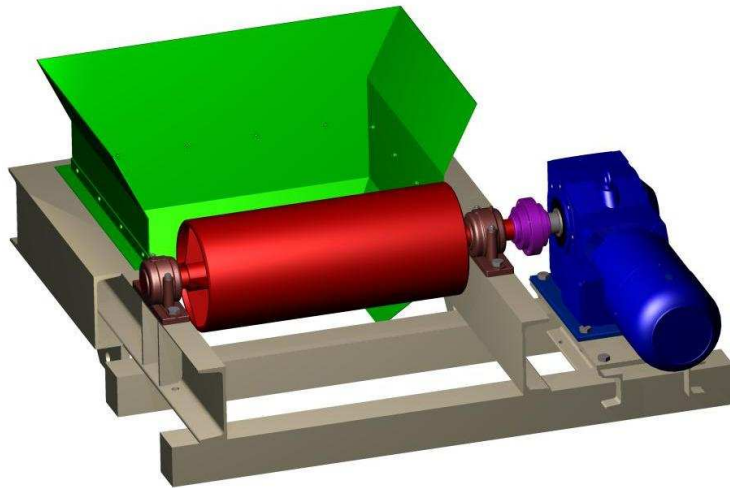
Pri návrhu dopravnej trasy podľa normy ČSN ISO 5048 všetky kontrolované a počítané súčasti vyhovujú podmienkam danej normy. Pri návrhu som prihliadal na zásady návrhu plávajúcich pásových dopravníkov a využívanie normalizovaných materiálov, dielov a profilov pre čo najlepší servis.

Konštrukcia pásového dopravníka je z nosníkov priehradovej oceľovej konštrukcie, zvarený z bezošvých trubiek a pásnic, po jednej strane vybavená servisnou lávkou so zábradlím a po druhej strane lávkou pre kabeláž a rozvodnou skriňou. Doprava ťaženého materiálu je zaistená pomocou gumeného dopravného pásu šírky $B = 650$ mm. Dopravný pás volím EP 400/3 z katalógu firmy MATADOR a.s.

Hornú a spodnú valčekovú stolicu volím z katalógu firmy TRANZA a.s. (obr. 2.3). Horná valčeková stolica trojvalčekového usporiadania typ CT – S s valčkami typu F – 089 x 250 – 6204 (obr. 2.3). Spodná valčeková stolica jednovalčekového usporiadania typ RB – S s valčkami typu F – 089 x 750 – 6204.

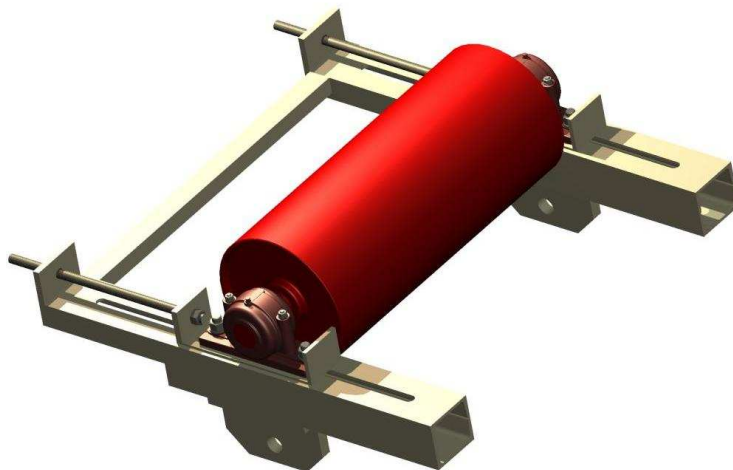
Poháňaciu stanicu (obr. 2.6) tvorí elektromotor s kužel'očelnou prevodovkou SK9042.1 - 132M4 Bre60 z katalógu firmy NORD (obr. 2.4). Medzi prevodovkou a bubnom je pružná spojka typu VPS 0,03 z katalógu firmy PSP Pohony (obr. 2.5). Hnací bubon je uložený v ložiskovom domku typ UCP 212. Hnací bubon je pogumovaný, skladá sa z obrobeného plášťa, dvoch koncových čiel a dvoch hriadel'ov, je volený z katalógu firmy TRANZA a.s.

Nosná časť konštrukcie je zvarená z U profilov. Na spodnej strane konštrukcie je pripevnený proti kus čapového závesu, prostredníctvom ktorého je spojený plávajúci pásový dopravník s plávajúcim telesom otoče na strane poháňacej stanice.



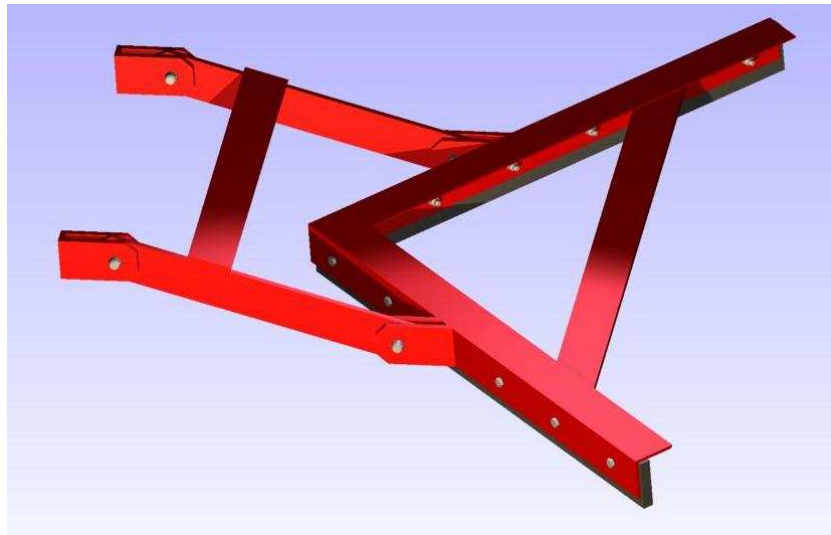
Obr. 2.6 – Poháňacia stanica pásového dopravníka (projektový model),
zdroj: vlastný model

Vratnú stanicu (obr. 2.7) tvorí vratný bubon uložený v ložiskových domkoch podobne ako pri poháňacej stanici. Napínanie pásu je prevedené pomocou dvoch skrutiek, ktoré priťahujú proti sebe dve konštrukcie, ktoré sa po sebe kĺžu. Nosná časť konštrukcie je zvarená z U – profilov. Na spodnej strane konštrukcie je pripevnený proti kus čapového závesu, prostredníctvom ktorého je spojený plávajúci pásový dopravník s plávajúcim telesom otoče na strane vratnej stanice.



Obr. 2.7 – Vratná stanica pásového dopravníka (projektový model),
zdroj: vlastný model

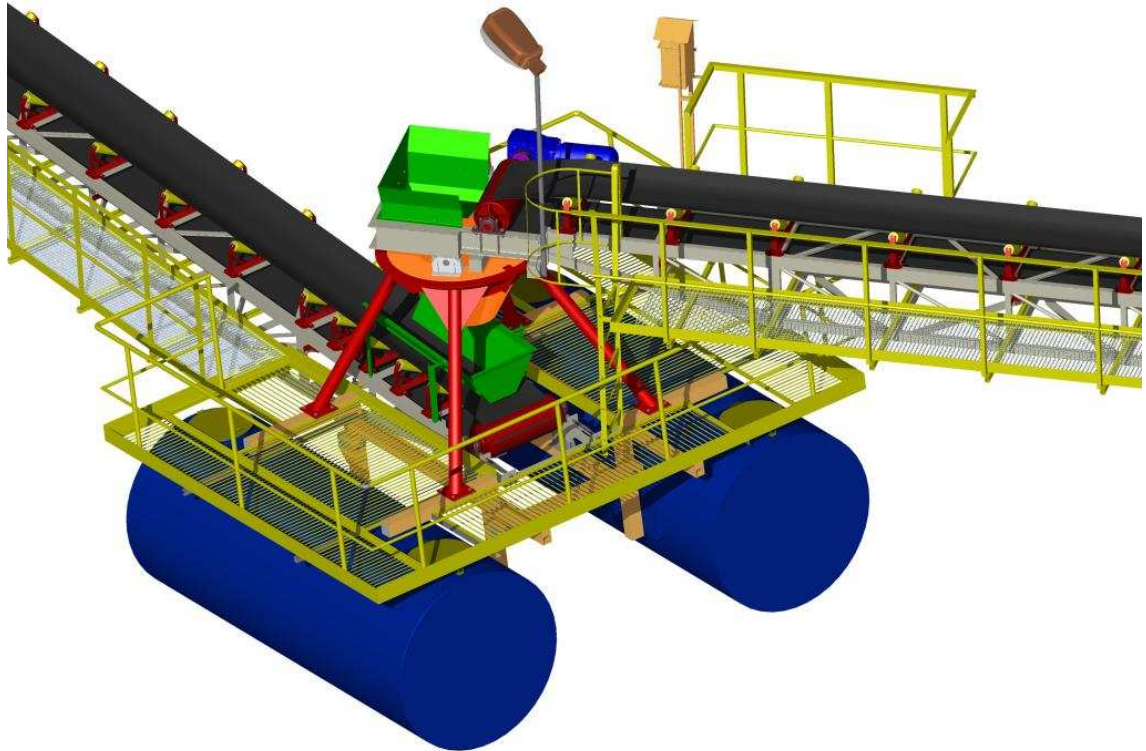
Dopravujeme vlhký piesok, ktorý vytvára nežiaduce nánosy na páse, bubnoch a valčekoch. Z tohto dôvodu je pásový dopravník vybavený dvoma čističmi pásu. Vnútorňa plocha pása je čistená šípovým čističom pása (obr. 2.8), ktorý je umiestnený tesne za vratnou stanicou. Vonkajšia plocha pása je čistená priamym čističom pása, ktorý je umiestnený tesne za poháňacou stanicou.



Obr. 2.8 – Šípový čistič dopravného pása (projektový model), zdroj: vlastný model

Z bezpečnostného hľadiska je pozdĺž celého dopravníka zavedené bezpečnostné lanko, ktoré je napojené na hlavný rozvádzač elektrickej energie. Pri zatahnutí za lanko v prípade nebezpečenstva pásový dopravník ihneď zastaví. Na násypke presypu sa nachádza bezpečnostný senzor, ktorý sníma plynulosť toku materiálu. V prípade poruchy toku materiálu sa pásový dopravník ihneď zastaví.

3. VÝPOČET PLÁVATEĽNOSTI A STABILITY PLÁVÁKOVÉHO TELESA



Obr. 3.1 – Plávajúca otoč (projektový model), zdroj: vlastný model

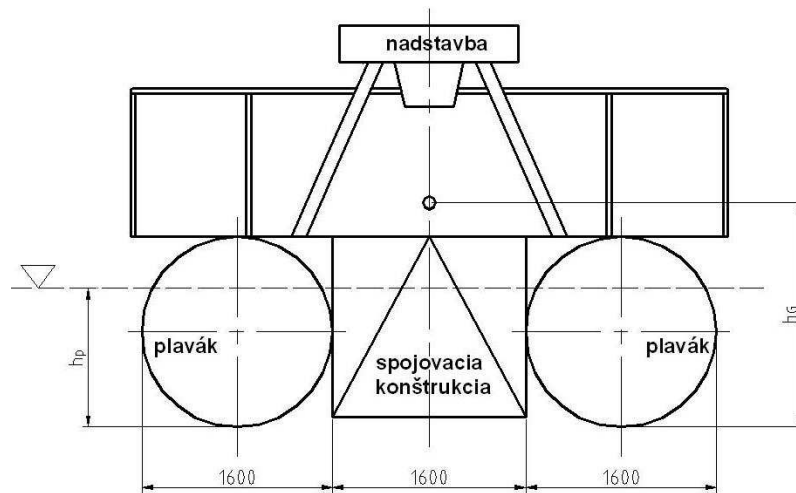
3.1 **STABILITA PLÁVÁKOVÉHO TELESA VALCOVÉHO TVARU (6)**

Výpočet stability a plávateľnosti plávajúceho telesa, ktoré pozostáva z plávajúcej dopravnej trasy zostavenej z pásových dopravníkov s koncovými podperami. Koncovými podperami rozumieme plávákové telesá valcového tvaru, ktoré samostatne plávajú na hladine ťažobného jazera. Pri výpočte neuvažujem s reakciami od dopravníkov, ktoré sú k plávajúcemu telesu pripevnené. Pásovú dopravu sú uložené čapovo v hornej časti nadstavby a v spodnej časti spojovacej konštrukcie. Jednotlivé dopravníky sú voči sebe osovo pootočené, tým stabilitu telesa výrazne zvyšujú.

Plávajúca otoč je tvorená dvoma plavákmi, spojovacou konštrukciou a nadstavbou (obr. 3.2). Pre výpočet vztlaku budeme uvažovať iba plaváky, pretože

vztlaková sila spojovacej konštrukcie je zanedbateľná. Pôdorysný rozmer plaváka valcového tvaru je 1600 x 4000 mm.

Pre výpočet stability je dôležitá poloha ťažiska otoče G. Na otoč pôsobí tiaž samotnej konštrukcie otoče, tiaž pásového dopravníka a maximálna tiaž dopravovaného materiálu od ťažobného stroja. Predpokladáme, že všetky tieto sily pôsobia v osi symetrie a taktiež aj ťažisko G leží na osi symetrie vo výške h_G nad dnom plaváka.



Obr. 3.2 – Plávajúca otoč – rozmerový náčrt, zdroj: vlastný nákres

Hodnoty potrebné pre výpočet polohy ťažiska

Celková hmotnosť plávajúcej otoče	$m_o = 4000 \text{ kg}$
Hmotnosť pásového dopravníka	$m_{pd} = 4500 \text{ kg}$
Poloha ťažiska otoče nad dnom plaváka	$h_o = 1,340 \text{ m}$
Poloha pôsobiska polovice tiaže PD v hornom uložení	$h_{pdh} = 3,510 \text{ m}$
Poloha pôsobiska polovice tiaže PD v spodnom uložení	$h_{pdd} = 1,508 \text{ m}$

Maximálna hmotnosť dopravovaného materiálu

$$m_{dm} = S_{np} \cdot L \cdot \rho_s$$

$$m_{dm} = 0,03535 \cdot 25 \cdot 1850 \tag{3.1}$$

$$m_{dm} = \underline{\underline{1635 \text{ kg}}}$$

Poloha ťažiska plávajúcej otoče

$$h_G = \frac{m_o \cdot h_o + \frac{1}{2} \cdot (m_{pd} + m_{dm}) \cdot h_{pdh} + \frac{1}{2} \cdot (m_{pd} + m_{dm}) \cdot h_{pdd}}{m_o + m_{pd} + m_{dm}} \quad (3.2)$$

$$h_G = \frac{4000 \cdot 1,340 + \frac{1}{2} \cdot (4500 + 1635) \cdot 3,510 + \frac{1}{2} \cdot (4500 + 1635) \cdot 1,508}{4000 + 4500 + 1635}$$

$$h_G = \underline{\underline{2,048 \text{ m}}}$$

Ponorenie otoče v rovnovážnej polohe

V rovnovážnej polohe plavákov sú osi plavákov vodorovné a teda uhol naklonenia otoče je $\alpha = 0 \text{ deg}$. Vztlková sila V [N] musí byť v rovnováhe s tiažou $G \cdot g$ [N].

Celková hmotnosť plávajúcej otoče

$$V = G \cdot g \Rightarrow \rho_v \cdot O = \rho_v \cdot h_p \cdot S_{pp} = G \quad (3.3)$$

kde je:

ρ_v [kg·m⁻³] – hustota vody

$$\rho_v = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

O [m³] – objem ponorenej časti oboch plavákov

S_{pp} [m²] – pôdorysná plocha plaváka

h_p [m] – hĺbka ponorenia plavákov v rovnovážnej polohe

$$G = m_o \cdot m_{pd} \cdot m_{dm} \quad (3.4)$$

$$G = 4000 \cdot 4500 \cdot 1635$$

$$G = \underline{\underline{10135 \text{ kg}}}$$

Objem ponorenej časti plavákov

$$O = \frac{G}{\rho_v} = \frac{10135}{1000} = \underline{\underline{10,135 \text{ m}^3}} \quad (3.5)$$

Pre rovnovážnu polohu ďalej platí, že nárysne plochy plavákov S_1 [m²] a S_2 [m²] sú rovnaké. Preto je možné vzťah (3.6) upraviť do tvaru (3.7).

$$O = O_1 + O_2 = S_1 \cdot l_p + S_2 \cdot l_p = l_p \cdot (S_1 + S_2) \quad (3.6)$$

$$O = l_p \cdot (S_1 + S_2) = l_p \cdot 2 \cdot S_1 \quad (3.7)$$

Plochu zanorenej časti jedného plaváka S_1 [m²] môžeme vypočítať viacerými spôsobmi. Podľa vzťahu (3.8) alebo (3.9).

$$\frac{G}{\rho_v} = l_p \cdot 2 \cdot S_1 \Rightarrow S_1 = \frac{G}{2 \cdot \rho_v \cdot l_p} \quad (3.8)$$

$$S_1 = \frac{10135}{2 \cdot 1000 \cdot 4}$$

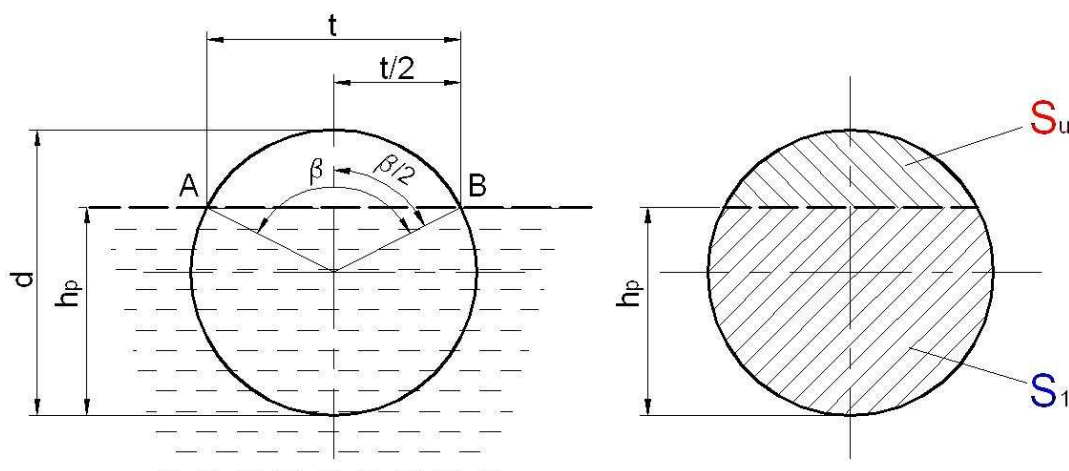
$$S_1 = \underline{\underline{1,266867 \text{ m}^2}}$$

$$S_1 = S_p - S_u \quad (3.9)$$

kde je:

S_p [m²] – nárysna plocha plaváka s priemerom $d = 1,6$ m

S_u [m²] – nárysna plocha vynorenej časti plaváka



Obr. 3.3 – Nárysne znázornenie zanorenia plaváka valcového tvaru,
zdroj: vlastný náčrt

Hĺbka ponoru plavákov v rovnovážnej polohe

$$\cos \frac{\beta}{2} = \frac{h_p - d/2}{d/2} \Rightarrow h_p = \frac{d}{2} \cdot \left(1 + \cos \frac{\beta}{2} \right) \quad (3.10)$$

$$h_p = \frac{1,6}{2} \cdot \left(1 + \cos \frac{156,25^\circ}{2} \right)$$

$$h_p = \underline{\underline{0,965 \text{ m}}}$$

Numerický výpočet uhlu β [deg] je prevzatý z programu MathCad Profesional. Pre ponorenie plávajúcej otoče vo vodorovnej polohe je uhol $\beta = 156,25$ deg, $\beta = 2,72$ rad.

Dĺžka tetivy

Dĺžku tetivy tvorí vodná hladina pretínajúca nárysnú plochu plaváka zanoreného plavákového telesa v rovnovážnej polohe. Môžeme ju určiť pomocou vzťahu (3.11).

$$\sin \frac{\beta}{2} = \frac{t/2}{d/2} \Rightarrow \frac{t}{2} = \frac{d}{2} \cdot \sin \frac{\beta}{2} \Rightarrow t = d \cdot \sin \frac{\beta}{2} \quad (3.11)$$

$$t = 1,6 \cdot \sin \frac{156,25}{2}$$

$$t = \underline{\underline{1,566 \text{ m}}}$$

Minimálny priemer plaváka

Aby plavák daného priemeru d [m] nebol celkom zatopený, je možné vyjadriť minimálny priemer d_{\min} [m] plaváka podľa vzťahu (3.12).

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_1}{\pi}} \quad (3.12)$$

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,266867}{\pi}}$$

$$d_{\min} = \underline{\underline{1,27 \text{ m}}}$$

Plocha vynorenej časti plaváka nad vodnú hladinu

Plochu vynorenej časti jedného plaváka môžeme vypočítať viacerými spôsobmi. Podľa vzťahu (3.13) alebo (3.14).

$$S_u = S_p - S_1 \quad (3.13)$$

$$S_u = \frac{\pi \cdot d^2}{4} - S_1$$

$$S_u = \frac{\pi \cdot 1,6^2}{4} - 1,266867$$

$$S_u = \underline{\underline{0,74375 \text{ m}^2}}$$

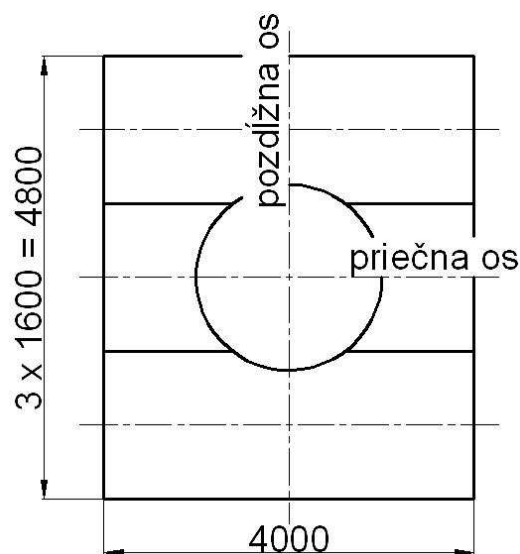
$$S_u = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2}{2} \cdot (\beta - \sin \beta)$$

(3.14)

Numerický výpočet uhlu β [deg] je prevzatý z programu MathCad Profesional.

Pozdĺžny a priečny smer otoče

Plávajúca otoč nemá charakter lode, ktorá sa pohybuje určitým smerom, preto za pozdĺžny smer volíme smer väčšieho pôdorysného rozmeru plavidla (obr. 3.4).



Obr. 3.4 – Plávajúca otoč – pôdorysný náčrt, zdroj: vlastný nákres

V ďalšej časti budeme analyzovať pozdĺžnu stabilitu plávajúcej otoče pri pohybe okolo priečnej osi (húpanie plavidla).

3.1.1 Pozdĺžna stabilita plavákového telesa

Tiažová sila G [N] pôsobí v ťažisku hmôt, ktorého poloha sa voči nadstavbe otoče (rozmer h_G [m]) pri nakláňaní nemení. V nasledujúcich rozmerových náčrtoch z tohto dôvodu už nebude zobrazovaná celá nadstavba, ale iba poloha ťažiska hmôt G .

Pri nakláňaní plavidla o uhol α [deg] ťažisko hmôt G zostáva v osi plavidla (os už nie je zvislá). Ťažisko výtlaku, tj. pôsobisko vztlakovej sily V [N] sa presúva.

Ak je h_G [m] výška ťažiska hmôt G nad dnom plaváka (v osi otoče) a ak sú ďalej x_v [m] y_v [m] súradnice ťažiska výtlaku V [N] v súradnicovom systéme otoče (x_v [m] v smere dna a y_v [m] kolmo ku dnu), potom rameno stability v_v [m] je možno vyjadriť podľa obr. 3.7 prostredníctvom vzťahu (3.15).

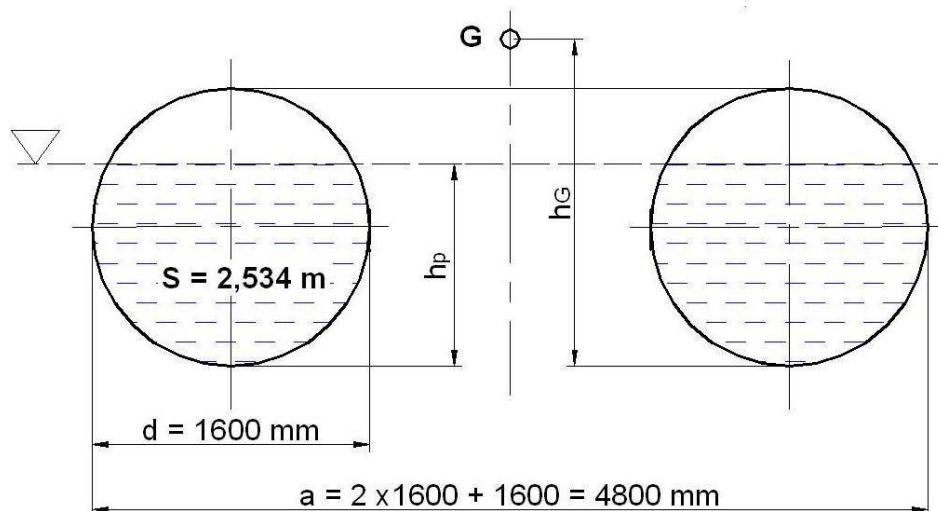
$$v_v = x_v \cdot \cos \alpha + y_v \cdot \sin \alpha - h_G \cdot \sin \alpha \quad (3.15)$$

V nasledujúcich rozboroch sa zameriame na výpočet ramena pozdĺžnej stability v_v [m] – vzťah (3.15) z polohy ťažiska hmôt a ťažiska výtlaku v závislosti na uhle naklonenia otoče α [deg] tvorenej plavákmi valcového tvaru.

Ako bolo vypočítané vyššie, s ohľadom na celkovú hmotnosť musí byť objem vytlačenej vody $O = 10,135 \text{ m}^3$. Ak je dĺžka oboch plavákov v priečnom smere $l_p = 4 \text{ m}$, potom je plocha S [m²] vymedzená pozdĺžnymi rozmermi plavákov a hladinou.



Obr. 3.5 – Plávajúca dopravná trasa s plavákovými telesami valcového tvaru,
zdroj: vlastné foto



Obr. 3.6 – Základné nárysne rozmery plavákov, zdroj: vlastný náčrt

$$S = \frac{O}{l_p} = \frac{10,135}{4} = \underline{\underline{2,53375 \text{ m}^2}} \quad (3.16)$$

Plocha S [m^2] vyjadrená vo vzťahu (3.16) zodpovedá súčtu zanorených plôch S_1 [m^2] a S_2 [m^2] oboch plavákov valcového tvaru. V okamihu, kedy sú plaváky v rovnovážnej polohe, tzn. že nie sú vychýlené o uhol α [deg], je veľkosť zanorenej nárysnej plochy jedného plaváka valcového tvaru (obr. 3.6) $S_1 = 1,2668 \text{ m}^2$.

Teda plocha vymedzená pozdĺžnymi rozmermi plavákov a hladinou v nárysnej rovine (obr. 3.6) $S = 2 \cdot S_1 = 2 \cdot 1,2668 = 2,53375 \text{ m}^2$. Táto plocha S [m^2] musí byť v celom priebehu nakláňania zachovaná.

Celý priebeh výpočtu môžeme rozdeliť do troch fáz:

1. fáza začína v rovnovážnej polohe ($\alpha = \alpha_0 = 0 \text{ deg}$) – obr. 3.6 a končí zanorením pravého plaváka valcového tvaru pod hladinu ($\alpha = \alpha_2$ [deg]) – obr. 3.7,
2. fáza začína ponorením pravého plaváka valcového tvaru pod vodnú hladinu ($\alpha = \alpha_2$ [deg]) a končí vynorením ľavého plaváka ($\alpha = \alpha_3$ [deg]),
3. fáza začína vynorením ľavého plaváka valcového tvaru nad vodnú hladinu ($\alpha = \alpha_3$ [deg]) a končí stratou stability ($\alpha = \alpha_k$ [deg]).

Výpočet plávateľnosti a stability je počítaný pomocou programu MathCad Profesional pre jednotlivé uhly natočenia α [deg]. Pre názornosť prevediem výpočet pre

jeden zvolený uhol v každej fáze. Vypočítané hodnoty z programu MathCad Profesional sú uvedené v tab. 3.1.

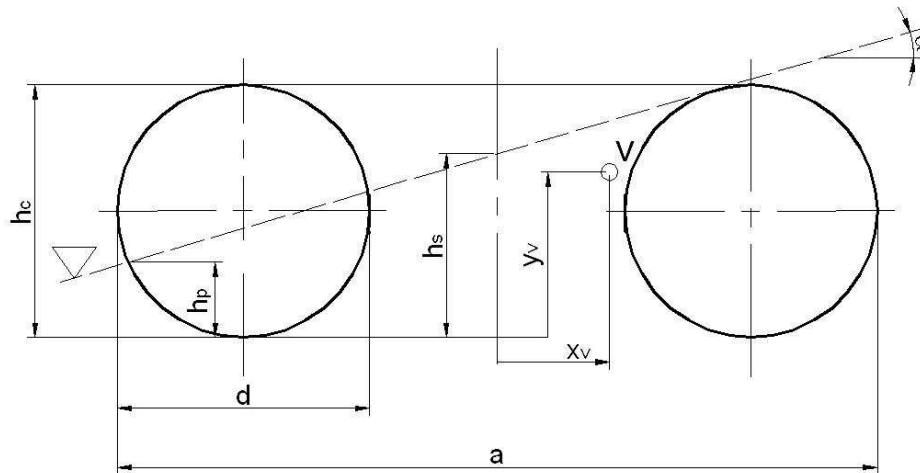
V 1. fáze plochu S [m²] ohraničenú kruhovými čelami oboch plavákov a hladinou ponoru môžeme vyjadriť podľa vzťahu (3.17).

$$S = S_1 + S_2 \quad (3.17)$$

kde je:

S_1 [m²] – zanorená plocha časti ľavého plaváka (obr. 3.13, vzťah (3.42))

S_2 [m²] – zanorená plocha časti pravého plaváka (obr. 3.14, vzťah (3.43))

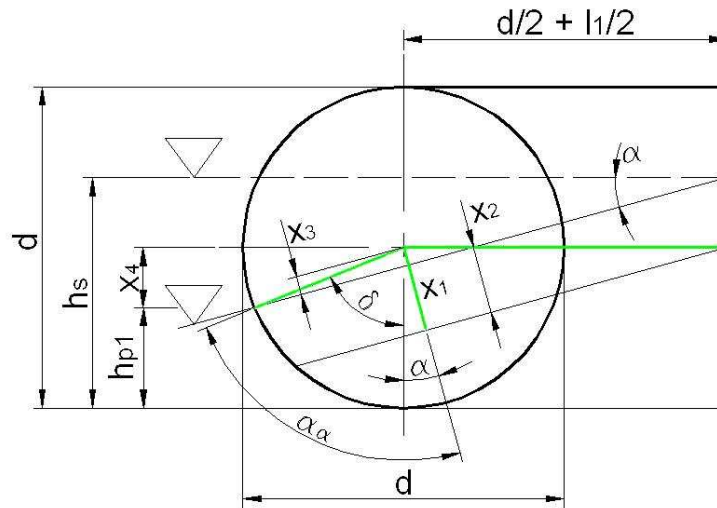


Obr. 3.7 – Ťažisko výtlaku v 2. fáze zanorenia plavákov, zdroj: vlastný náčrt

Za účelom stanovenia x–ových a y–ových súradníc jednotlivých bodov zanorenia ľavého a pravého plaváka plávajúcej otoče (obr. 3.12) sú vyjadrené nasledujúce vzťahy (3.18) až (3.40).

Výpočet 1. fázy pre uhol náklonu plávajúcej otoče α

Výpočet 1. fázy volím pre náklon vertikálnej osi o uhol 10 [deg]. Pri výpočte musíme zohľadniť, že pri náklone vertikálnej osi o uhol 10 [deg] sa horizontálna os plavákového telesa nakloní o uhol $\alpha = 11,24$ [deg].



Obr. 3.8 – Zanorenie ľavej časti ľavého plaváka, hĺbka zanorenia h_{p1} [m],
zdroj: vlastný náčrt

Podľa obr. 3.8 platí pre dĺžku x_1 [m] vzťah (3.18).

$$\sin \alpha = \frac{x_1}{\frac{l_1}{2} + \frac{d}{2}} \Rightarrow x_1 = \left(\frac{l_1}{2} + \frac{d}{2} \right) \cdot \sin \alpha \quad (3.18)$$

$$x_1 = \left(\frac{1,6}{2} + \frac{1,6}{2} \right) \cdot \sin 11,24^\circ$$

$$x_1 = \underline{\underline{0,312 \text{ m}}}$$

Podľa obr. 3.8 platí pre dĺžku x_2 [m] vzťah (3.19).

$$\cos \alpha = \frac{x_2}{h_s - \frac{d}{2}} \Rightarrow x_2 = \left(h_s - \frac{d}{2} \right) \cdot \cos \alpha \quad (3.19)$$

$$x_2 = \left(0,965 - \frac{1,6}{2} \right) \cdot \cos 11,24^\circ$$

$$x_2 = \underline{\underline{0,161 \text{ m}}}$$

Dĺžka úsečky x_3 [m] je podľa obr. 3.8 vyjadrená rozdielom dĺžok úsečiek x_1 [m] a x_2 [m] podľa vzťahu (3.20).

$$x_3 = x_1 - x_2 = \left(\frac{l_1}{2} + \frac{d}{2} \right) \cdot \sin \alpha - \left(h_s - \frac{d}{2} \right) \cdot \cos \alpha \quad (3.20)$$

$$x_3 = 0,312 - 0,161$$

$$x_3 = \underline{\underline{0,15 \text{ m}}}$$

Podľa obr. 3.8 platí pre uhol α_α [deg] vzťah (3.21) a pre uhol δ [deg] vzťah (3.22).

$$\cos \alpha_\alpha = \frac{x_3}{\frac{d}{2}} = \frac{2 \cdot \left[\left(\frac{l_1}{2} + \frac{d}{2} \right) \cdot \sin \alpha - \left(h_s - \frac{d}{2} \right) \cdot \cos \alpha \right]}{d} \Rightarrow \alpha_\alpha \quad (3.21)$$

$$\alpha_\alpha = \arccos = \frac{2 \cdot \left[\left(\frac{l_1}{2} + \frac{d}{2} \right) \cdot \sin \alpha - \left(h_s - \frac{d}{2} \right) \cdot \cos \alpha \right]}{d}$$

$$\alpha_\alpha = \arccos = \frac{2 \cdot \left[\left(\frac{1,6}{2} + \frac{1,6}{2} \right) \cdot \sin 11,24^\circ - \left(0,965 - \frac{1,6}{2} \right) \cdot \cos 11,24^\circ \right]}{1,6}$$

$$\alpha_\alpha = \underline{\underline{79,16^\circ}}$$

$$\delta = \alpha_\alpha - \alpha \quad (3.22)$$

$$\delta = 79,16^\circ - 11,24^\circ$$

$$\delta = \underline{\underline{67,92^\circ}}$$

Podľa obr. 3.8 platí pre dĺžku úsečky x_4 [m] vzťah (3.23).

$$\cos \delta = \frac{x_4}{\frac{d}{2}} \Rightarrow x_4 = \frac{d}{2} \cdot \cos \delta \quad (3.23)$$

$$x_4 = \frac{1,6}{2} \cdot \cos 67,92^\circ$$

$$x_4 = \underline{\underline{0,301 \text{ m}}}$$

y-ovú súradnicu zanorenia ľavej časti ľavého pláváka plávajúcej otoče, podľa obr. 3.12 je možné vyjadriť vzťahom (3.24).

$$h_{p1} = \frac{d}{2} - x_4 = \frac{d}{2} \cdot (1 - \cos \delta) \quad (3.24)$$

$$h_{p1} = \frac{1,6}{2} \cdot (1 - \cos 67,92^\circ)$$

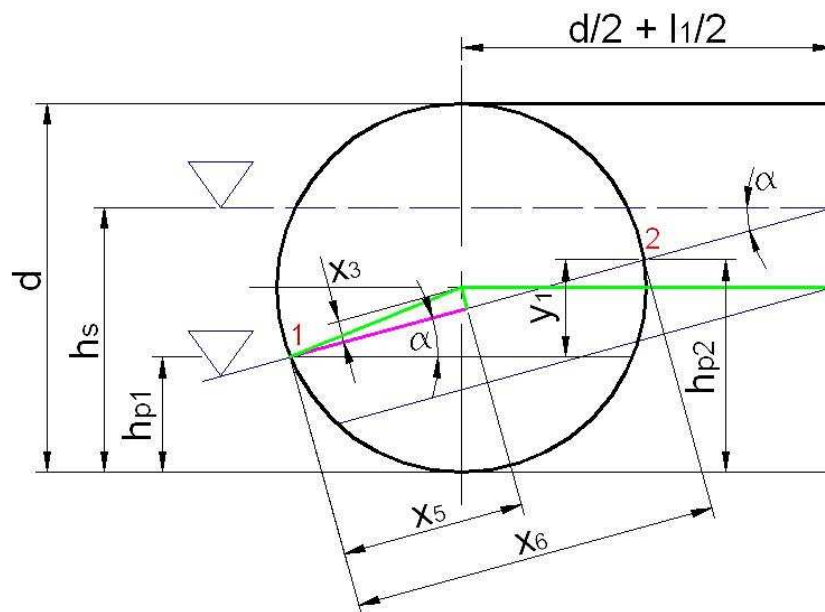
$$h_{p1} = \underline{\underline{0,499 \text{ m}}}$$

x-ovú súradnicu zanorenia ľavej časti ľavého plaváka plávajúcej otoče, podľa obr. 3.12 je možné vyjadriť vzt'ahom (3.25).

$$x_{p1} = \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2} - h_{p1}\right)^2} + \left(\frac{d}{2} + \frac{l_1}{2}\right) \quad (3.25)$$

$$x_{p1} = \sqrt{\left(\frac{1,6}{2}\right)^2 - \left(\frac{1,6}{2} - 0,499\right)^2} + \left(\frac{1,6}{2} + \frac{1,6}{2}\right)$$

$$x_{p1} = \underline{\underline{2,341 \text{ m}}}$$



Obr. 3.9 – Zanorenie pravej časti ľavého plaváka, hĺbka zanorenia h_{p2} [m],
zdroj: vlastný náčrt

Podľa obr. 3.9 platí pre dĺžku úsečky x_5 [m] vzt'ah (3.26).

$$x_5 = \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - (x_3)^2} = \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - \left[\left(\frac{l_1}{2} + \frac{d}{2}\right) \cdot \sin \alpha - \left(h_s - \frac{d}{2}\right) \cdot \cos \alpha\right]^2} \quad (3.26)$$

$$x_5 = \sqrt{\left(\frac{1,6}{2}\right)^2 - \left[\left(\frac{1,6}{2} + \frac{1,6}{2}\right) \cdot \sin 11,24^\circ - \left(0,965 - \frac{1,6}{2}\right) \cdot \cos 11,24^\circ\right]^2}$$

$$x_5 = \underline{\underline{0,786 \text{ m}}}$$

Podľa obr. 3.9 je dĺžka úsečky x_6 [m] dvojnásobkom dĺžky úsečky x_5 [m], teda vid' vzťah (3.27).

$$x_6 = 2 \cdot x_5 = 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - \left[\left(\frac{l_1}{2} + \frac{d}{2}\right) \cdot \sin \alpha - \left(h_s - \frac{d}{2}\right) \cdot \cos \alpha\right]^2} \quad (3.27)$$

$$x_6 = 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{1,6}{2}\right)^2 - \left[\left(\frac{1,6}{2} + \frac{1,6}{2}\right) \cdot \sin 11,24^\circ - \left(0,965 - \frac{1,6}{2}\right) \cdot \cos 11,24^\circ\right]^2}$$

$$x_6 = \underline{\underline{1,571 \text{ m}}}$$

Podľa obr. 3.9 platí pre dĺžku úsečky y_1 [m] vzťah (3.28).

$$\sin \alpha = \frac{y_1}{x_6} \Rightarrow y_1 = 2 \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - \left[\left(\frac{l_1}{2} + \frac{d}{2}\right) \cdot \sin \alpha - \left(h_s - \frac{d}{2}\right) \cdot \cos \alpha\right]^2} \quad (3.28)$$

$$y_1 = 2 \cdot \sin 11,24^\circ \cdot \sqrt{\left(\frac{1,6}{2}\right)^2 - \left[\left(\frac{1,6}{2} + \frac{1,6}{2}\right) \cdot \sin 11,24^\circ - \left(0,965 - \frac{1,6}{2}\right) \cdot \cos 11,24^\circ\right]^2}$$

$$y_1 = \underline{\underline{0,306 \text{ m}}}$$

y -ovú súradnicu zanorenia pravej časti ľavého plaváka plávajúcej otoče, podľa obr. 3.12 je možné vyjadriť vzťahom (3.29), ktorý je odvodený na základe obr. 3.9.

$$h_{p2} = h_1 + y_1 = \frac{d}{2} \cdot (1 - \cos \delta) + y_1 \quad (3.29)$$

$$h_{p2} = \frac{1,6}{2} \cdot (1 - \cos 67,92^\circ) + 0,306$$

$$h_{p2} = \underline{\underline{0,806 \text{ m}}}$$

x-ovú súradnicu zanorenia pravej časti ľavého plaváka plávajúcej otoče, podľa obr. 3.12 je možné vyjadriť vzťahom (3.30).

$$x_{p2} = \frac{d}{2} - \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2} - h_{p2}\right)^2} + \frac{l_1}{2} \quad (3.30)$$

$$x_{p2} = \frac{1,6}{2} - \sqrt{\left(\frac{1,6}{2}\right)^2 - \left(\frac{1,6}{2} - 0,806\right)^2} + \frac{1,6}{2}$$

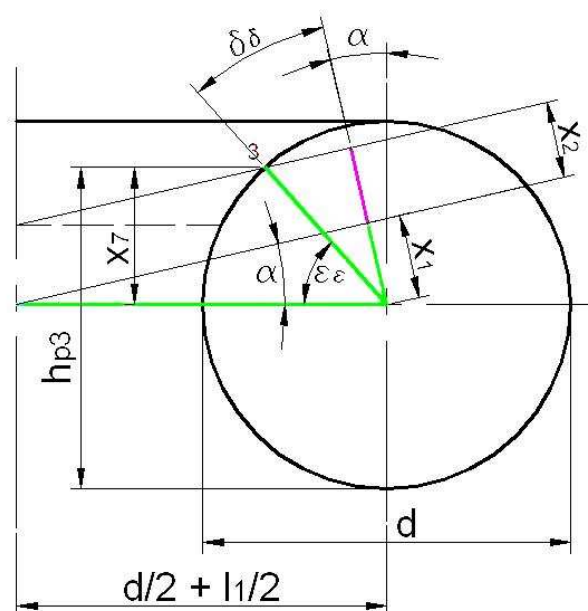
$$x_{p2} = \underline{\underline{0,8 \text{ m}}}$$

Podľa obr. 3.10 platí pre uhol δ_δ [deg] vzťah (3.31) a pre uhol ϵ_ϵ [deg] vzťah (3.32).

$$\cos \delta_\delta = \frac{x_1 + x_2}{\frac{d}{2}} \Rightarrow \delta_\delta = \arccos \frac{\left(\frac{l_1}{2} + \frac{d}{2}\right) \cdot \sin \alpha + \left(h_s - \frac{d}{2}\right) \cdot \cos \alpha}{\frac{d}{2}} \quad (3.31)$$

$$\delta_\delta = \arccos \frac{\left(\frac{1,6}{2} + \frac{1,6}{2}\right) \cdot \sin 11,24^\circ + \left(0,965 - \frac{1,6}{2}\right) \cdot \cos 11,24^\circ}{\frac{1,6}{2}}$$

$$\delta_\delta = \underline{\underline{53,73^\circ}}$$



Obr. 3.10 – Zanorenie ľavej časti pravého plaváka, hĺbka zanorenia h_{p3} [m], zdroj: vlastný nákres

$$\varepsilon_\varepsilon = 90^\circ - \delta_\delta - \alpha \quad (3.32)$$

$$\varepsilon_\varepsilon = 90^\circ - 53,73^\circ - 11,24^\circ$$

$$\varepsilon_\varepsilon = \underline{\underline{25,03^\circ}}$$

Podľa obr. 3.10 platí pre dĺžku úsečky x_7 [m] vzťah (3.33).

$$\sin \varepsilon_\varepsilon = \frac{x_7}{\frac{d}{2}} \Rightarrow x_7 = \frac{d}{2} \cdot \sin \varepsilon_\varepsilon \quad (3.33)$$

$$x_7 = \frac{1,6}{2} \cdot \sin 25,03^\circ$$

$$x_7 = \underline{\underline{0,338^\circ}}$$

y-ovú súradnicu zanorenia ľavej časti pravého plaváka plávajúcej otoče, podľa obr. 3.12 je možné vyjadriť vzťahom (3.34), ktorý je odvodený na základe obr. 3.10.

$$h_{p3} = \frac{d}{2} + x_7 = \frac{d}{2} + \frac{d}{2} \sin \varepsilon_\varepsilon = \frac{d}{2} \cdot (1 + \sin \varepsilon_\varepsilon) \quad (3.34)$$

$$h_{p3} = \frac{1,6}{2} \cdot (1 + \sin 25,03^\circ)$$

$$h_{p3} = \underline{\underline{1,138 \text{ m}}}$$

x-ovú súradnicu zanorenia ľavej časti pravého plaváka plávajúcej otoče, podľa obr.

3.12 je možné vyjadriť vzťahom (3.35).

$$x_{p3} = \frac{d}{2} - \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - \left(h_{p3} - \frac{d}{2}\right)^2} + \frac{l_1}{2} \quad (3.35)$$

$$x_{p3} = \frac{1,6}{2} - \sqrt{\left(\frac{1,6}{2}\right)^2 - \left(1,138 - \frac{1,6}{2}\right)^2} + \frac{1,6}{2}$$

$$x_{p3} = \underline{\underline{0,875 \text{ m}}}$$

Podľa obr. 3.11 platí pre dĺžku úsečky x_8 [m] vzťah (3.36).

$$\sin \delta_\delta = \frac{x_8}{\frac{d}{2}} \Rightarrow x_8 = \frac{d}{2} \cdot \sin \delta_\delta \quad (3.36)$$

$$x_8 = \frac{1,6}{2} \cdot \sin 53,73^\circ$$

$$x_8 = \underline{\underline{0,645 \text{ m}}}$$

Podľa obr. 3.11 je dĺžka úsečky x_9 [m] dvojnásobkom dĺžky úsečky x_8 [m], teda vid' vzťah (3.37).

$$x_9 = 2 \cdot x_8 = 2 \cdot \frac{d}{2} \cdot \sin \delta_\delta = d \cdot \sin \delta_\delta \quad (3.37)$$

$$x_9 = 1,6 \cdot \sin 53,73^\circ$$

$$x_9 = \underline{\underline{1,29 \text{ m}}}$$

Podľa obr. 3.11 platí pre dĺžku úsečky y_2 [m] vzťah (3.38).

$$\sin \alpha = \frac{y_2}{x_9} \Rightarrow y_2 = x_9 \cdot \sin \alpha = d \cdot \sin \delta_\delta \cdot \sin \alpha \quad (3.38)$$

$$y_2 = 1,6 \cdot \sin 53,73^\circ \cdot \sin 11,24^\circ$$

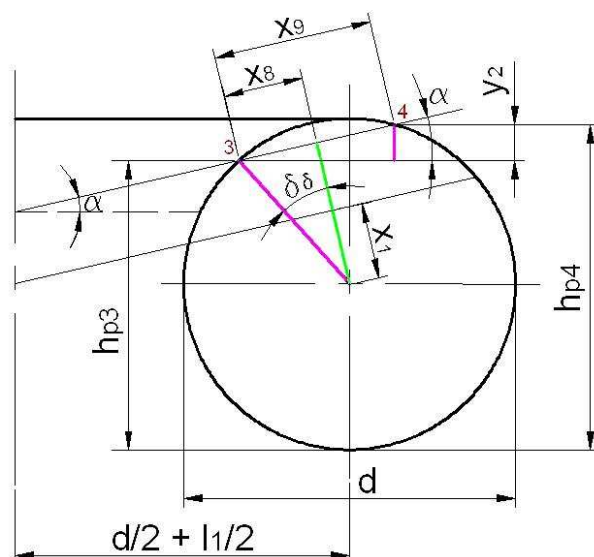
$$y_2 = \underline{\underline{0,251 \text{ m}}}$$

y-ovú súradnicu zanorenia pravej časti pravého plaváka plávajúcej otoče, podľa obr. 3.12 je možné vyjadriť vzťahom (3.39), ktorý je odvodený na základe obr. 3.11.

$$h_{p4} = h_{p3} + y_2 = \frac{d}{2} \cdot (1 + \sin \varepsilon_\varepsilon) + d \cdot \sin \delta_\delta \cdot \sin \alpha \quad (3.39)$$

$$h_{p4} = \frac{1,6}{2} \cdot (1 + \sin 25,03^\circ) + 1,6 \cdot \sin 53,73^\circ \cdot \sin 11,24^\circ$$

$$h_{p4} = \underline{\underline{1,39 \text{ m}}}$$



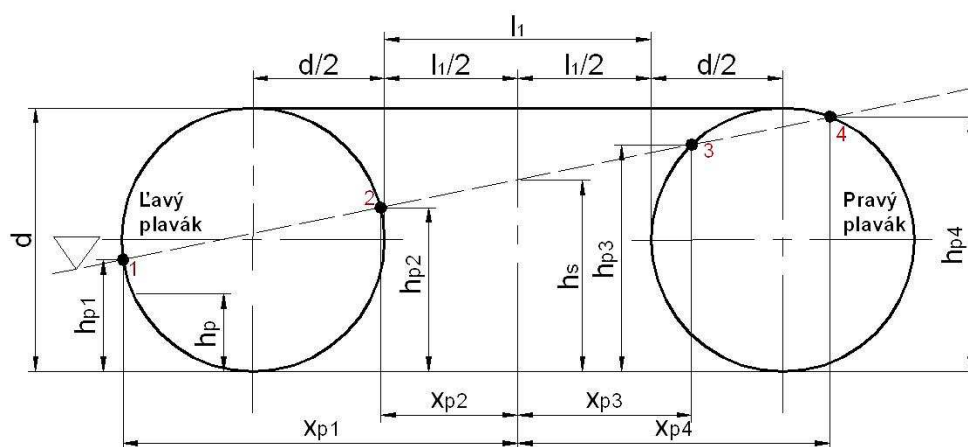
Obr. 3.11 – Zanorenie pravej časti pravého plaváka, hĺbka zanorenia h_{p4} [m], zdroj: vlastný náčrt

x-ovú súradnicu zanorenia pravej časti pravého plaváka plávajúcej otoče, podľa obr. 3.12 je možné vyjadriť vzťahom (3.40).

$$x_{p4} = \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - \left(h_{p4} - \frac{d}{2}\right)^2} + \left(\frac{l_1}{2} + \frac{d}{2}\right) \quad (3.40)$$

$$x_{p4} = \sqrt{\left(\frac{1,6}{2}\right)^2 - \left(1,39 - \frac{1,6}{2}\right)^2} + \left(\frac{1,6}{2} + \frac{1,6}{2}\right)$$

$$x_{p4} = \underline{\underline{2,14 \text{ m}}}$$



Obr. 3.12 – Súradnice jednotlivých bodov zanorenia ľavého a pravého plaváka v horizontálnej rovine, zdroj: vlastný náčrt

Súradnice ťažiska výtlaku V môžeme určiť podľa obr. 3.15. Pre určenie x–ovej súradnice x_v [m] ťažiska výtlaku V platí vzťah (3.41).

$$S \cdot x_v = \sum_{i=1}^n S_i \cdot x_{Ti} \Rightarrow x_v = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot x_{Ti}}{S} = \frac{S_1 \cdot x_{T1} + S_2 \cdot x_{T2}}{S} \quad (3.41)$$

Celkovú plochu S [m²] zanorenej časti kruhových čelných plôch oboch plavákov možno vyjadriť podľa vzťahu (3.17).

Plochu S_1 [m²] podľa obr.3.13 ohraničenú kruhovými čelami ľavého plaváka a hladinou môžeme vyjadriť podľa vzťahu (3.42).

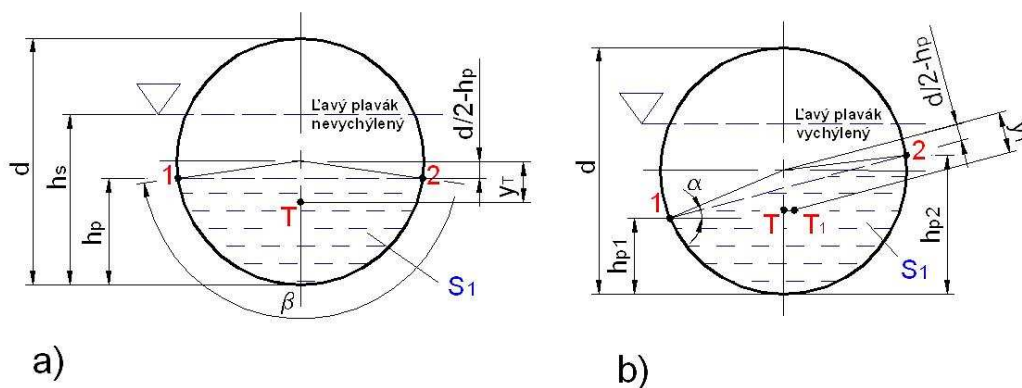
$$S_1 = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2}{2} \cdot (\beta - \sin \beta) \quad (3.42)$$

$$S_1 = \frac{\left(\frac{1,6}{2}\right)^2}{2} \cdot (2,811 - \sin 161,04^\circ)$$

$$S_1 = \underline{\underline{0,7954 \text{ m}^2}}$$

kde je:

β [deg] – uhol v oblúkovej miere podľa obr. 3.13



Obr. 3.13 – Plocha S_1 [m²] zanorenia ľavého plaváka pri vychýlení plávajúcej otoče o uhol α [deg], zdroj: vlastný nákres

$$S_2 = S_p - S_{u2} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} - \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2}{2} \cdot (\beta - \sin \beta) = \frac{d^2}{4} \cdot \left(\pi - \frac{\beta - \sin \beta}{2}\right) \quad (3.43)$$

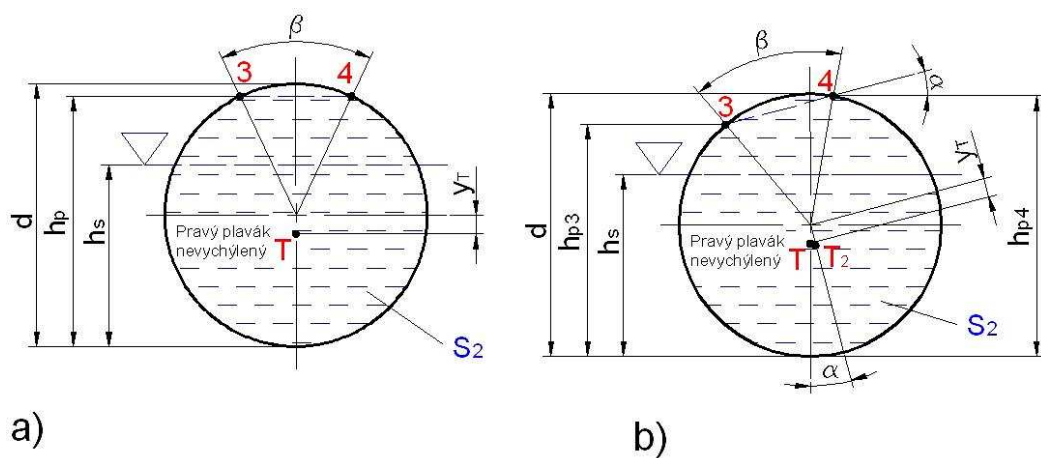
$$S_2 = \frac{1,6^2}{4} \cdot \left(\pi - \frac{1,817 - \sin 104,12^\circ}{2}\right)$$

$$S_2 = \underline{\underline{1,7395 \text{ m}^2}}$$

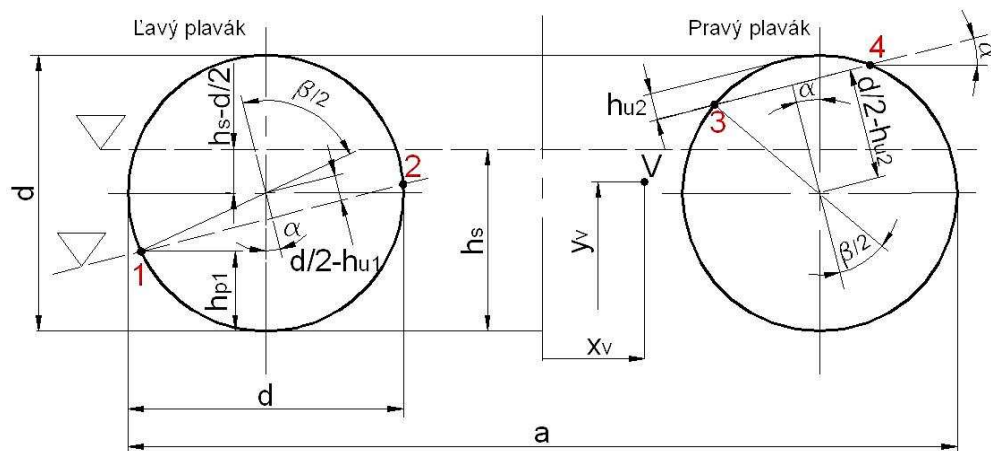
kde je:

β [deg] – uhol v oblúkovej miere podľa obr.3.14

S_p [m²] – celková plocha plaváka kruhového tvaru



Obr. 3.14 – Plocha S_2 [m²] zanorenia pravého plaváka pri vychýlení plávajúcej otoče o uhol α [deg], zdroj: vlastný náčrt



Obr. 3.15 – Ťažisko výtlaku, zdroj: vlastný náčrt

Ťažisko kruhovej úseče leží na osi súmernosti danej kruhovej úseče vo vzdialenosti e [m] vid' vzťah (3.44) od stredu príslušnej kružnice.

$$e = \frac{t^3}{12 \cdot S_u} = \frac{4 \cdot \frac{d}{2} \cdot \sin^3 \frac{\beta}{2}}{3 \cdot \left(\frac{\pi \cdot \beta}{180} - \sin \beta \right)} \quad (3.44)$$

kde je:

S_u [m²] – obsah kruhovej úseče

t [m] – dĺžka tetivy

Dĺžku tetivy t_{11} [m] môžeme vyjadriť podľa vzťahu (3.45).

$$\sin \frac{\beta}{2} = \frac{\frac{t_1}{2}}{\frac{d}{2}} = \frac{t_{11}}{d} \Rightarrow t_{11} = d \cdot \sin \frac{\beta}{2} \quad (3.45)$$

$$t_{11} = 1,6 \cdot \sin \frac{161,04^\circ}{2}$$

$$t_{11} = \underline{\underline{1,578 \text{ m}}}$$

Podľa obr. 5.13a platí, že ťažisko T_1 zanorenej plochy ľavého plaváka leží vo vzdialenosti e_1 [m] vid' vzťah (3.46) od stredu kruhovej plochy ľavého plaváka.

$$e_1 = \frac{t_{11}^3}{12 \cdot S_1} = \frac{\left(d \cdot \sin \frac{\beta}{2} \right)^3}{12 \cdot S_1} \quad (3.46)$$

$$e_1 = \frac{1,578^3}{12 \cdot 0,7954}$$

$$e_1 = \underline{\underline{0,412 \text{ m}}}$$

Dĺžku tetivy t_{22} [m] môžeme vyjadriť podľa vzťahu (3.47).

$$\sin \frac{\beta}{2} = \frac{\frac{t_{22}}{2}}{\frac{d}{2}} = \frac{t_{22}}{d} \Rightarrow t_{22} = d \cdot \sin \frac{\beta}{2} \quad (3.47)$$

$$t_{22} = 1,6 \cdot \sin \frac{104,12^\circ}{2}$$

$$t_{22} = \underline{\underline{1,262 \text{ m}}}$$

Podľa obr. 3.14a platí, že ťažisko T_{u2} vynorenej plochy S_{u2} [m²] pravého plaváka leží vo vzdialenosti e_2 [m] vid' vzťah (3.48) od stredu kruhovej plochy pravého plaváka.

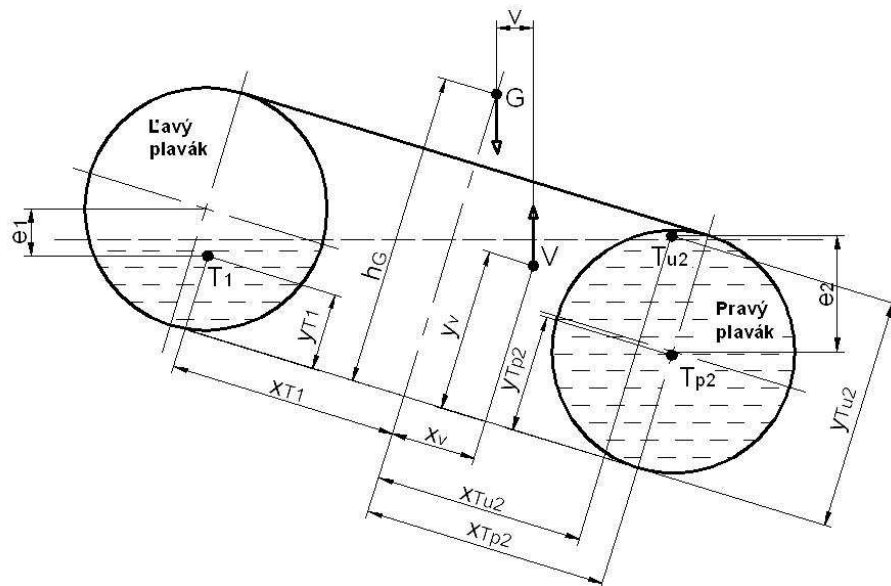
$$e_2 = \frac{t_{22}^3}{12 \cdot S_{u2}} = \frac{\left(d \cdot \sin \frac{\beta}{2}\right)^3}{12 \cdot S_{u2}} \quad (3.48)$$

$$e_2 = \frac{1,262^3}{12 \cdot 0,2711}$$

$$e_2 = \underline{\underline{0,618 \text{ m}}}$$

kde je:

S_{u2} [m²] – plocha vynorenej časti pravého plaváka



Obr. 3.16 – Súradnice ťažiska výtlaku v 1. fáze, zdroj: vlastný nákres

Vzdialenosť ťažiska x_{T1} [m] môžeme vyjadriť podľa vzťahu (3.49) a obr. 3.16.

$$x_{T1} = \frac{d}{2} - \sin \alpha \cdot e_1 + \frac{l_1}{2} \quad (3.49)$$

$$x_{T1} = \frac{1,6}{2} - \sin 11,24^\circ \cdot 0,412 + \frac{1,6}{2}$$

$$x_{T1} = \underline{\underline{1,519 \text{ m}}}$$

Vzdialenosť ťažiska x_{Tu2} [m] môžeme vyjadriť podľa vzťahu (3.50) a obr. 3.16.

$$x_{Tu2} = \frac{d}{2} - \sin \alpha \cdot e_2 + \frac{l_1}{2} \quad (3.50)$$

$$x_{Tu2} = \frac{1,6}{2} - \sin 11,24^\circ \cdot 0,618 + \frac{1,6}{2}$$

$$x_{Tu2} = \underline{\underline{1,479 \text{ m}}}$$

Vzdialenosť ťažiska x_{Tp2} [m] môžeme vyjadriť podľa vzťahu (3.51) a obr. 3.16.

$$x_{Tp2} = \frac{d}{2} + \frac{l_1}{2} \quad (3.51)$$

$$x_{Tp2} = \frac{1,6}{2} + \frac{1,6}{2}$$

$$x_{Tp2} = \underline{\underline{1,6 \text{ m}}}$$

Pre určenie x-ovej súradnice x_{v1} [m] ťažiska výtlaku V platí vzťah (3.52) s využitím vzťahu (3.41).

$$x_{v1} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot x_{Ti}}{S} = \frac{S_1 \cdot (-x_{T1}) + S_{p2} \cdot x_{Tp2}}{S} \quad (3.52)$$

$$x_{v1} = \frac{0,7954 \cdot (-1,519) + 1,73945 \cdot 1,6}{2,53375}$$

$$x_{v1} = \underline{\underline{0,6218 \text{ m}}}$$

Vzdialenosť ťažiska y_{T1} [m] môžeme vyjadriť podľa vzťahu (3.53) a obr. 3.16.

$$y_{T1} = \frac{d}{2} - \cos \alpha \cdot e_1 \quad (3.53)$$

$$y_{T1} = \frac{1,6}{2} - \cos 11,24^\circ \cdot 0,412$$

$$y_{T1} = \underline{\underline{0,396 \text{ m}}}$$

Vzdialenosť ťažiska y_{Tu2} [m] môžeme vyjadriť podľa vzťahu (3.54) a obr. 3.16.

$$y_{Tu2} = d - \cos\alpha \cdot e_2 \quad (3.54)$$

$$y_{Tu2} = 1,6 - \cos 11,24^\circ \cdot 0,618$$

$$y_{Tu2} = \underline{\underline{0,994 \text{ m}}}$$

Vzdialenosť ťažiska y_{Tp2} [m] môžeme vyjadriť podľa vzťahu (3.55) a obr. 3.16.

$$y_{Tp2} = \frac{d}{2} = \frac{1,6}{2} = \underline{\underline{0,8 \text{ m}}} \quad (3.55)$$

Pre určenie y-ovej súradnice y_{v1} [m] ťažiska výtlaku V platí vzťah (3.56) s využitím vzťahu (3.41).

$$S \cdot y_{v1} = \sum_{i=1}^n S_i \cdot y_{Ti} \Rightarrow y_{v1} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot y_{Ti}}{S} = \frac{S_1 \cdot y_{T1} + S_{p2} \cdot y_{Tp2}}{S} \quad (3.56)$$

$$y_{v1} = \frac{0,7954 \cdot 0,396 + 1,73945 \cdot 0,8}{2,53375}$$

$$y_{v1} = \underline{\underline{0,6732 \text{ m}}}$$

Podľa obr. 3.10 môžeme stanoviť, že v okamihu, kedy dĺžka úsečky $x_1 + x_2$ [m], vid' vzťahy (3.18) a (3.19), dosiahnu hodnotu polomeru pravého plaváka dôjde k potopeniu pravého plaváka valcového tvaru plávajúcej otoče a tým skončí 1. fáza. Uhol α_2 [deg] môžeme vyjadriť pomocou vzťahu (3.31) pre uhol $\delta_\delta = 0$ [deg], vid' vzťah (3.57).

$$\cos \delta_\delta = \frac{x_1 + x_2}{\frac{d}{2}} = \cos 0^\circ = 1 \Rightarrow \frac{d}{2} = x_1 + x_2 \quad (3.57)$$

Ak dosadíme za x_1 [m] vzťah (3.18) a za x_2 [m] vzťah (3.19) dostaneme vzťah (3.58).

$$\frac{d}{2} = \left(\frac{l_1}{2} + \frac{d}{2} \right) \cdot \sin \alpha_2 + \left(h_s - \frac{d}{2} \right) \cos \alpha_2 \quad (3.58)$$

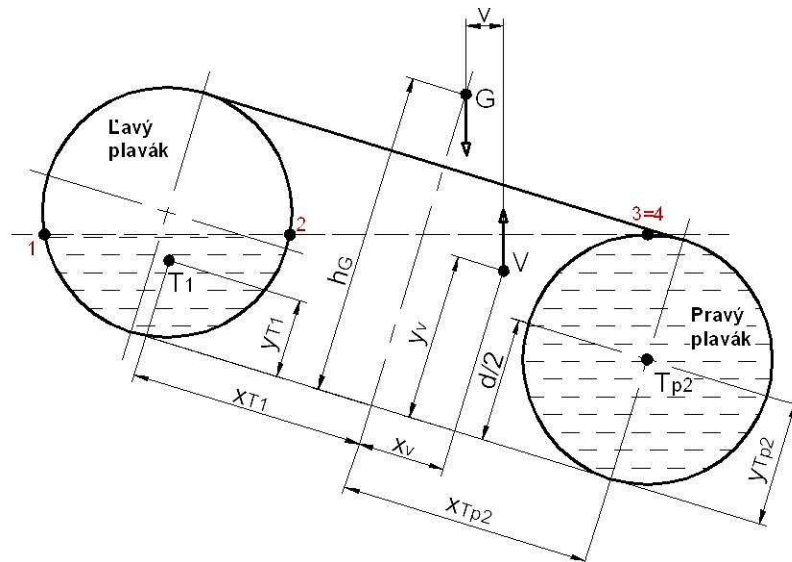
Uhol α_2 [deg] vypočítame numerickým riešením v programe MathCad Profesional.

V polohe $\alpha_2 = 23,9$ deg bude pravý plavák valcového tvaru úplne potopený pod vodnou hladinou. Tým skončila 1. fáza.

Výpočet 2. fázy pre uhol náklonu plávajúcej otoče α

Výpočet 2. fázy volím pre náklon horizontálnej osi plavákového telesa o uhol $\alpha_2 = 23,9$ [deg].

Súradnice ťažiska výtlaku V môžeme určiť pomocou obr. 3.17. Pre určenie x-ovej súradnice x_v [m] ťažiska výtlaku V platí vzťah (3.59) a pre určenie y-ovej súradnice y_v [m] ťažiska výtlaku V platí vzťah (3.60).



Obr. 3.17 – Súradnice ťažiska výtlaku v 2. fáze, zdroj: vlastný náčrt

$$x_{v2} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot x_{Ti}}{S} = \frac{S_1 \cdot (-x_{T1}) + S_{p2} \cdot x_{Tp2}}{S} \quad (3.59)$$

$$y_{v2} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot y_{Ti}}{S} = \frac{S_1 \cdot y_{T1} + S_{p2} \cdot y_{Tp2}}{S} \quad (3.60)$$

kde je:

S_1 [m²] – zanorená plocha ľavého plaváka, podľa vzťahu (3.42)

S_{p2} [m²] – plocha pravého plaváka, podľa vzťahu (3.43)

S [m²] – plocha podľa vzťahu (3.16)

x_{T1} [m] – vzdialenosť ťažiska zanorenej plochy ľavého plaváka od priečnej osi, vid' vzťah (3.49)

x_{Tp2} [m] – vzdialenosť ťažiska celkovej plochy pravého plaváka od priečnej osi, vid' vzťah (3.51)

y_{T1} [m] – vzdialenosť ťažiska zanorenej plochy ľavého plaváka od dna valcového plaváka, vid' vzťah (3.53)

y_{Tp2} [m] – vzdialenosť ťažiska celkovej plochy pravého plaváka od dna valcového plaváka, vid' vzťah (3.55)

Plocha S_1 [m²] zanorenej časti ľavého plaváka v 2. fáze.

$$S_1 = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2}{2} \cdot (\beta - \sin \beta) \quad (3.61)$$

$$S_1 = \frac{\left(\frac{1,6}{2}\right)^2}{2} \cdot (2,307 - \sin 132,22^\circ)$$

$$S_1 = \underline{\underline{0,50147 \text{ m}^2}}$$

Ťažisko T_1 zanorenej plochy ľavého plaváka leží vo vzdialenosti e_1 [m] v 2. fáze.

$$e_1 = \frac{t_1^3}{12 \cdot S_1} = \frac{\left(d \cdot \sin \frac{\beta}{2}\right)^3}{12 \cdot S_1} \quad (3.62)$$

$$e_1 = \frac{1,463^3}{12 \cdot 0,50147}$$

$$e_1 = \underline{\underline{0,52 \text{ m}}}$$

Vzdialenosť ťažiska x_{T1} [m] v 2. fáze

$$x_{T1} = \frac{d}{2} - \sin \alpha \cdot e_1 + \frac{l_1}{2} \quad (3.63)$$

$$x_{T1} = \frac{1,6}{2} - \sin 23,9^\circ \cdot 0,52 + \frac{1,6}{2}$$

$$x_{T1} = \underline{\underline{1,389 \text{ m}}}$$

Vzdialenosť ťažiska y_{T1} [m] v 2. fáze

$$y_{T1} = \frac{d}{2} - \cos \alpha \cdot e_1 \quad (3.64)$$

$$y_{T1} = \frac{1,6}{2} - \cos 23,9^\circ \cdot 0,52$$

$$y_{T1} = \underline{\underline{0,325 \text{ m}}}$$

Súradnice ťažiska výtlaku V v 2. fáze

$$x_{v2} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot x_{Ti}}{S} = \frac{S_1 \cdot (-x_{T1}) + S_{p2} \cdot x_{Tp2}}{S} \quad (3.65)$$

$$x_{v2} = \frac{0,50147 \cdot (-1,389) + 2,01062 \cdot 1,6}{2,5337}$$

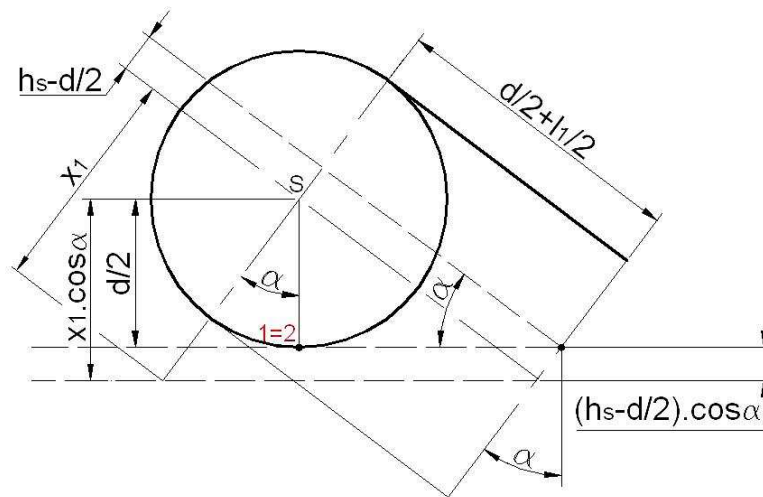
$$x_{v2} = \underline{\underline{0,995 \text{ m}}}$$

$$y_{v2} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot y_{Ti}}{S} = \frac{S_1 \cdot y_{T1} + S_{p2} \cdot y_{Tp2}}{S} \quad (3.66)$$

$$y_{v2} = \frac{0,50147 \cdot 0,325 + 2,01062 \cdot 0,8}{2,53375}$$

$$y_{v2} = \underline{\underline{0,699 \text{ m}}}$$

Podľa obr. 3.18 môžeme stanoviť, že v okamihu, kedy rozdiel dĺžok úsečiek podľa vzťahu (3.67) dosiahne hodnotu polomeru ľavého plaváka dôjde ku vynoreniu ľavého plaváka valcového tvaru plávajúcej otoče nad vodnú hladinu a tým skončí 2. fáza. Uhol α_3 [deg] môžeme vyjadriť podľa vzťahu (3.69).



Obr. 3.18 – Výpočet uhla α_3 [deg], zdroj: vlastný nákres

$$x_1 \cdot \cos \alpha_3 - \left(h_s - \frac{d}{2} \right) \cdot \cos \alpha_3 = \frac{d}{2} \quad (3.67)$$

$$x_1 = \left(\frac{d}{2} + \frac{l_1}{2} \right) \cdot \operatorname{tg} \alpha_3 \quad (3.68)$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \frac{d}{2} + \left(h_s - \frac{d}{2} \right) \cdot \cos \alpha_3 - \left(\frac{d}{2} + \frac{l_1}{2} \right) \cdot \operatorname{tg} \alpha_3 \cdot \cos \alpha_3 &= 0 \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{d}{2} + \left(h_s - \frac{d}{2} \right) \cdot \cos \alpha_3 - \left(\frac{d}{2} + \frac{l_1}{2} \right) \cdot \sin \alpha_3 &= 0 \Rightarrow \frac{d}{2} + x_2 - x_1 = 0 \end{aligned} \quad (3.69)$$

kde je:

x_1 [m] – dĺžka úsečky vyjadrená podľa vzťahu (3.18)

x_2 [m] – dĺžka úsečky vyjadrená podľa vzťahu (3.19)

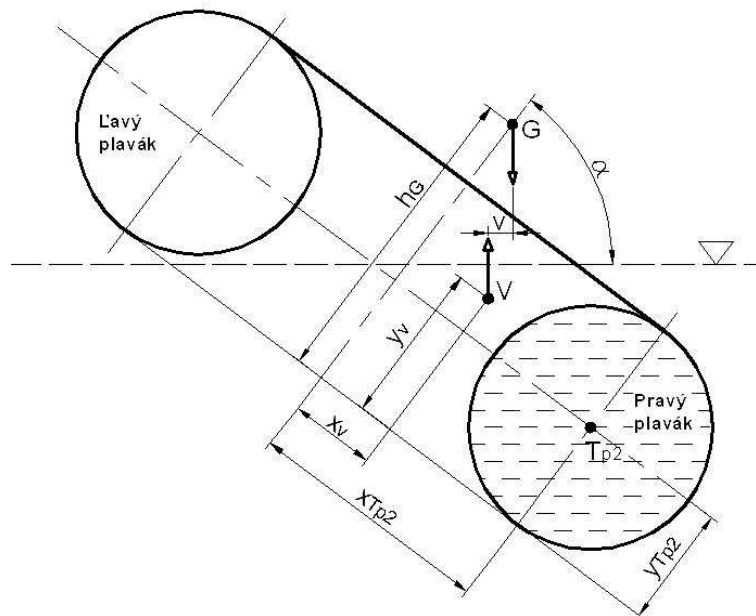
Uhol α_3 [deg] vypočítame numerickým riešením v programe MathCad Profesional.

V polohe $\alpha_3 = 35,7$ deg bude ľavý plavák valcového tvaru úplne vynorený nad vodnou hladinou. Tým skončila 2. fáza.

Výpočet 3. fázy pre uhol náklonu plávajúcej otoče α

Výpočet 3. fázy volím pre náklon horizontálnej osi plavákového telesa o uhol $\alpha_3 = 35,7$ [deg].

Súradnice ťažiska výtlaku V môžeme určiť pomocou obr. 3.19. Pre určenie x -ovej súradnice x_v [m] ťažiska výtlaku V platí vzťah (3.70) a pre určenie y -ovej súradnice y_v [m] ťažiska výtlaku V platí vzťah (3.71).



Obr. 3.19 – Súradnice ťažiska výtlaku v 3. fáze, zdroj: vlastný nákres

$$x_{v3} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot x_{Ti}}{S} = \frac{S_{p2} \cdot x_{Tp2}}{S} \quad (3.70)$$

$$x_{v3} = \frac{2,01062 \cdot 1,6}{2,53375}$$

$$x_{v3} = \underline{\underline{1,33 \text{ m}}}$$

$$y_{v3} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot y_{Ti}}{S} = \frac{S_{p2} \cdot y_{Tp2}}{S} \quad (3.71)$$

$$y_{v3} = \frac{2,01062 \cdot 0,8}{2,53375}$$

$$y_{v3} = \underline{\underline{0,635 \text{ m}}}$$

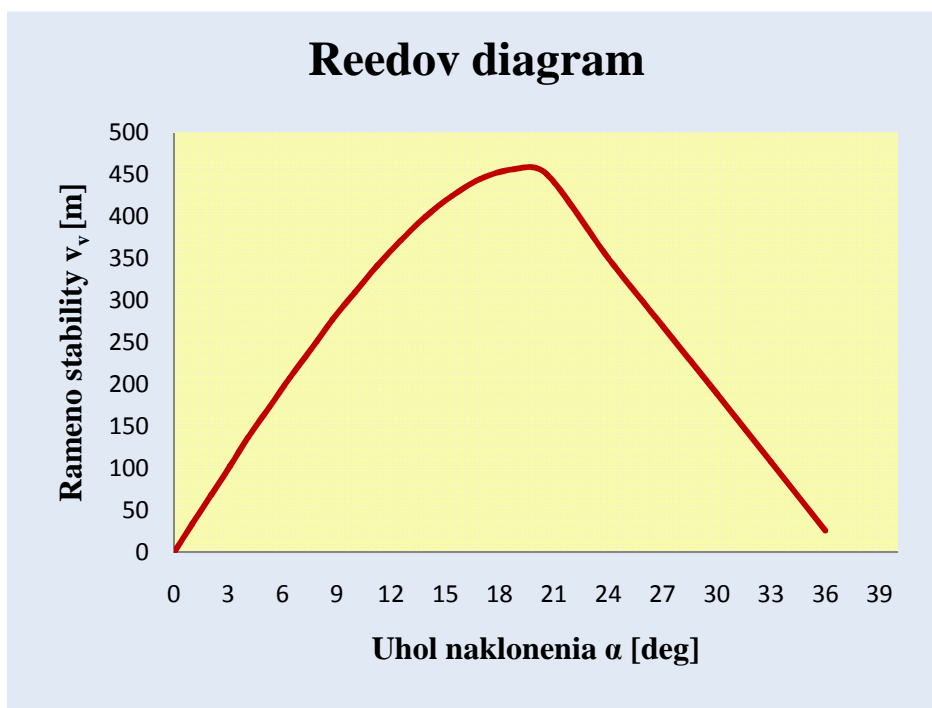
3.1.2 Zhodnotenie stability plavákového telesa valcového tvaru proti prevráteniu

Veľkosť ramena pozdĺžnej stability v_v [m] vid' vzťah (3.15) (počítaný pomocou programu MathCad Profesional) na uhle α [deg] naklonenia plávajúcej otoče tvorenej plavákmi valcového tvaru je znázornený v tab. 3.1.

Grafický priebeh ramena pozdĺžnej stability v_v [m] v závislosti na uhle α [deg] naklonenia plávajúcej otoče, tvorenej plavákmi valcového tvaru, tzn. Reedov diagram je uvedený na obr. 3.20.

α	x_v	y_v	v_v
[deg]	[mm]	[mm]	[mm]
0	0	674	0
3	177,7	668	102,83
6	364,4	666	208,13
9	492	669	276,65
12	621,3	674	341,52
15	814,8	686	424,6
18	942	695	456,55
21	989,5	697	450,8
24	982	701,9	350,5
27	988	704,3	270,4
30	992	707	189,5
33	997	709	108,1
36	1002	713	26,4
39	1006	716	-55,4

Tab. 3.1 – Hodnoty ramena pozdĺžnej stability v_v [m] na uhle α [deg] naklonenia plávajúcej otoče tvorenej plavákmi valcového tvaru vypočítané v programe MathCad Profesional, zdroj: vlastný výpočet



Obr. 3.20 – Reedov diagram pozdĺžnej stability v_v [m] – závislosť naklonenia plavidla, zdroj: vlastný nákres

3.2 ZHODNOTENIE KONŠTRUKČNÉHO NÁVRHU PLÁVÁKOVÉHO TELESA

Teleso plávajúcej otoče tvorenej plavákmi valcového tvaru je navrhnuté ako samostatná konštrukcia určená k doprave ťaživa od korčekového bagra na breh ťažobného jazera. V kombinácii s vhodnými transportérmi (plávajúcimi pásovými dopravníkmi) môžeme zostaviť plávajúcu dopravnú trasu ľubovoľnej dĺžky podľa ťažobnej plochy jazera tak, aby ťažba prebiehala čo najefektívnejšie.

Plávajúce teleso o rozmeroch (dĺžka 4 m, šírka 5,022 m, výška 3,533 m) je zostavené z dvoch plavákov, spojovacej konštrukcie, paluby otoče so zábradlím, nadstavby a otočnej násypky. Pri návrhu konštrukcie plávajúceho telesa som bral ohľad na transport, montáž, demontáž a servis jednotlivých komponentov zostavy. Z tohto dôvodu nie je celá konštrukcia zvarená, ale je z časti spojovaná skrutkovými spojmami.

Plavák valcového tvaru je oceľovej konštrukcie, priečne vystužený prstencovými rebrami z oceľového plechu hrúbky 5 mm. Plavák je rozdelený prepážkou na dve vodotesné komory. Vstup do jednotlivých komôr je zaistený oválnym vodotesným prielezom normalizovaného typu. Drenážny systém vodotesnej komory je

konštruovaný tak, že je zaistené vetranie komory, tak v prípade potreby môžeme odsasť skondenzovanú vodu pomocou malých prenosných čerpadiel. Na plášti plaváka je nakreslená vodoryska, ktorá znázorňuje maximálny prípustný ponor plávajúceho telesa. Súčasťou tohto bezpečnostného opatrenia je aj senzor, ktorý sníma výšku vodnej hladiny.

Spojovacia konštrukcia je zvarená z U profilov do nosníkov, ktoré majú za úlohu pevne spojiť plaváky a niesť polovicu tiaže pásového dopravníka s dopravovaným materiálom. Na priečny nosník spojovacej konštrukcie je pripevnený čapový záves, prostredníctvom ktorého je spojený plávajúci pásový dopravník s plávajúcim telesom otoče na strane vratnej stanice.

Paluba otoče je zostavená z roštov, ktoré sú umiestnené v rámoch. Okolo obvodu plávajúceho telesa sa nachádza zábradlie (výška 1,1 m) s okopovými lištami.

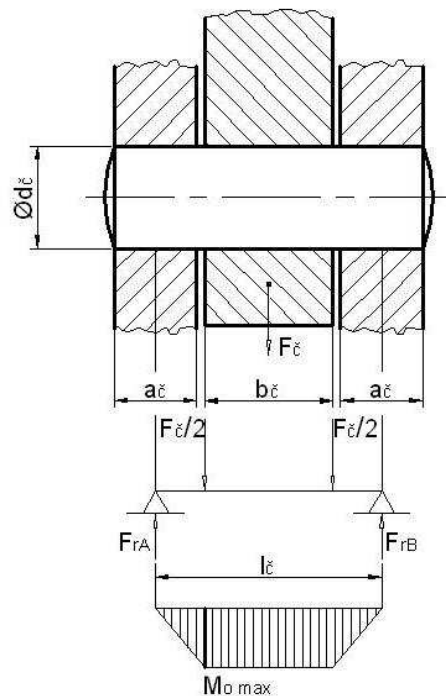
Nadstavba plávajúceho telesa má tvar kozlíka. Skladá sa zo štyroch stojok, ktoré tvoria valcované tyče a límca do ktorého zapadá násypka. Stojky sú k plavákovému telesu priskrutkované o priečny nosník, aby sme zaistili bezproblémovú manipuláciu.

Násypka plavákového telesa tvorí proti kus ku límcu nadstavby, ktoré do seba zapadajú a sú voči sebe otočné. Otáčanie násypky v nadstavbe je obmedzené dorazmi, ktoré vymedzujú uhol medzi dopravnými trasami. Na límci násypky je pripevnený čapový záves, prostredníctvom ktorého je spojený plávajúci pásový dopravník s plávajúcim telesom otoče na strane poháňacej stanice vid' obr. 4.2.

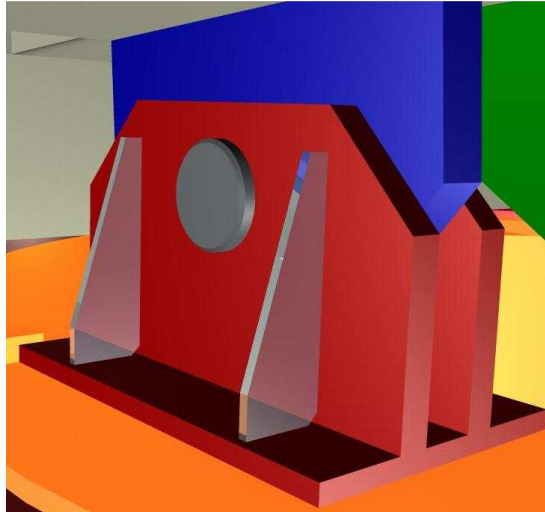
4. POTREBNÉ TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY

4.1 VÝPOČET ČAPOVÉHO ULOŽENIA PÁSOVÉHO DOPRAVNÍKA (3)

Pásový dopravník (na strane poháňacej stanice) je uložený čapovým spojom v hornej časti nadstavby na hornú otočnú časť násypky. Rovnakým čapovým spojom je uložený pásový dopravník (na strane vratnej stanice) aj v spodnej časti na spojovaciu konštrukciu pontónov. Na dva čapové spoje ako v hornom, tak v spodnom uložení pôsobí polovica tiaže pásového dopravníka a polovica tiaže dopravovaného materiálu, ktorý spočíva na dopravníku. *Materiál čapu 11 140.*



Obr. 4.1 – Schéma čapového uloženia pásového dopravníka, zdroj: vlastný náčrt



Obr. 4.2 – Čapové uloženie pásového dopravníka (projektový model),
zdroj: vlastný model

Čap je namáhaný na strih, otláčenie a ohyb. Pri výpočte na ohyb berieme čap ako nosník na dvoch podporách, zaťažený spojitým zaťažením s dĺžkou rovnajúcou sa šírke b_{ξ} (obr. 4.1).

Východiskové hodnoty

Sila pôsobiaca na 1 čap	$F_{\xi} = 15046 \text{ N}$
Priemer čapu	$d_{\xi} = 40 \text{ mm}$
Rozmer čapového spoja podľa obr. 4.1	$a_{\xi} = 16 \text{ mm}$
Rozmer čapového spoja podľa obr. 4.1	$b_{\xi} = 25 \text{ mm}$

4.1.1 Výpočet na šmyk

$$\tau_s = \frac{F_{\xi}}{S_{\xi}} \leq \tau_{DS} \quad (4.1)$$

Dovolené šmykové napätie

$$\tau_{DS} = 0,6 \cdot \sigma_{Dt} \quad (4.2)$$

$$\sigma_{Dt} = \frac{0,6 \cdot \sigma_{Pt} \cdot c_{II}}{k_{\xi}} \quad (4.3)$$

$$\sigma_{Dt} = \frac{0,6 \cdot 800}{2} \cdot 0,85$$

$$\sigma_{Dt} = \underline{\underline{204 \text{ MPa}}}$$

kde je:

σ_{Pt} [MPa] – medza pevnosti materiálu čapu v ťahu

$$\sigma_{Pt} = 800 \text{ MPa}$$

k_{ξ} [-] – koeficient bezpečnosti

$$k_{\xi} = 2$$

c_{II} [-] – súčiniteľ zníženia napätia pre mýjivé zaťaženie

$$c_{II} = 0,85$$

$$\tau_{DS} = 0,6 \cdot \sigma_{Dt} \quad (4.4)$$

$$\tau_{DS} = 0,6 \cdot 204$$

$$\tau_{DS} = \underline{\underline{122,4 \text{ MPa}}}$$

Plocha čapu namáhaná šmykom

$$S_{\xi} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\xi}^2}{4} \quad (4.5)$$

$$S_{\xi} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 40^2}{4}$$

$$S_{\xi} = \underline{\underline{2513,3 \text{ mm}^2}}$$

Výpočtové napätie v šmyku

$$\tau_s = \frac{4 \cdot F_{\xi}}{2 \cdot \pi \cdot d_{\xi}^2} \quad (4.6)$$

$$\tau_s = \frac{4 \cdot 15046}{2 \cdot \pi \cdot 40^2}$$

$$\tau_s = \underline{\underline{6 \text{ MPa}}}$$

4.1.2 Výpočet na otláčenie

$$p_2 = \frac{F_{\xi}}{S_{\xi 2}} \leq p_{D2} \quad (4.7)$$

Dovolený tlak vo vidlici

$$p_{D2} = \sigma_{Dd} = \sigma_{Dt} = \frac{0,6 \cdot \sigma_{Pt} \cdot c_{II}}{k_{\epsilon}} \quad (4.8)$$

$$p_{D2} = \frac{0,6 \cdot 400}{2} \cdot 0,85$$

$$p_{D2} = \underline{\underline{102 \text{ MPa}}}$$

Otlačovaná plocha vidlice

$$S_{\epsilon 2} = 2 \cdot a_{\epsilon} \cdot d_{\epsilon}$$

$$S_{\epsilon 2} = 2 \cdot 16 \cdot 40 \quad (4.9)$$

$$S_{\epsilon 2} = \underline{\underline{1280 \text{ mm}^2}}$$

Výpočtový tlak na vidlicu

$$p_2 = \frac{F_{\epsilon}}{S_{\epsilon 2}} \quad (4.10)$$

$$p_2 = \frac{15046}{1280}$$

$$p_2 = \underline{\underline{11,7 \text{ MPa}}}$$

$$p_1 = \frac{F_{\epsilon}}{S_{\epsilon 1}} \leq p_{D1} \quad (4.11)$$

Dovolený tlak v otočnej časti

$$p_{D1} = 0,35 \cdot p_{D2} \quad (4.12)$$

$$p_{D1} = 0,35 \cdot 102$$

$$p_{D1} = \underline{\underline{35,7 \text{ MPa}}}$$

Otlačovaná plocha v otočnej časti

$$S_{\epsilon 1} = b_{\epsilon} \cdot d_{\epsilon} \quad (4.13)$$

$$S_{\epsilon 1} = 25 \cdot 40$$

$$S_{\epsilon 1} = \underline{\underline{1000 \text{ mm}^2}}$$

Výpočtový tlak v otočnej časti

$$p_1 = \frac{F_{\xi}}{S_{\xi 1}} \quad (4.14)$$

$$p_1 = \frac{15046}{1000}$$

$$p_1 = \underline{\underline{15 \text{ MPa}}}$$

4.1.3 Výpočet na ohyb

$$\sigma_o = \frac{M_{o \max}}{W_o} \leq \sigma_{Do} \quad (4.15)$$

Dovolené napätie v ohybe

$$\sigma_{Do} = \sigma_{Dt} = \frac{0,6 \cdot \sigma_{Pt}}{k_{\xi}} \cdot c_{III} \quad (4.16)$$

$$\sigma_{Do} = \frac{0,6 \cdot 400}{2} \cdot 0,65$$

$$\sigma_{Do} = \underline{\underline{78 \text{ MPa}}}$$

kde je:

σ_{Pt} [MPa] – medza pevnosti materiálu v ťahu

$\sigma_{Pt} = 400 \text{ MPa}$

k_{ξ} [-] – koeficient bezpečnosti

$k_{\xi} = 2$

c_{III} [-] – súčiniteľ zníženia napätia pre striedavé zaťaženie

$c_{III} = 0,65$

Výpočtové napätie v ohybe

$$\sigma_o = \frac{F_{rA} \cdot \left(\frac{a_{\xi}}{2} + \frac{b_{\xi}}{4} \right)}{\frac{\pi}{32} \cdot d^3} \quad (4.17)$$

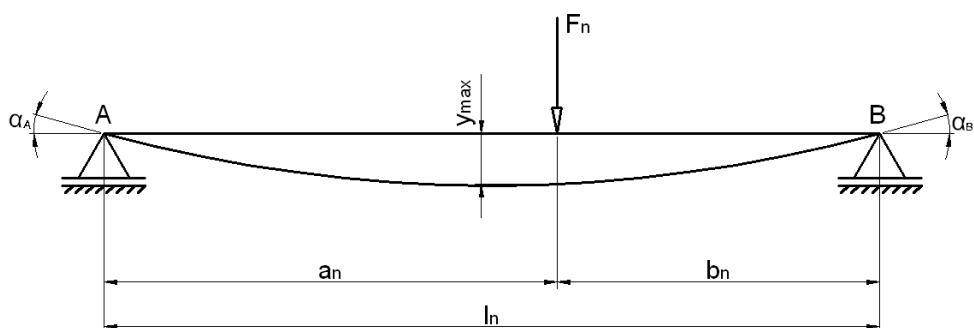
$$\sigma_o = \frac{\frac{15046}{2} \cdot \left(\frac{16}{2} + \frac{25}{4} \right)}{\frac{\pi}{32} \cdot 40^3}$$

$$\sigma_o = \underline{\underline{16,75 \text{ MPa}}}$$

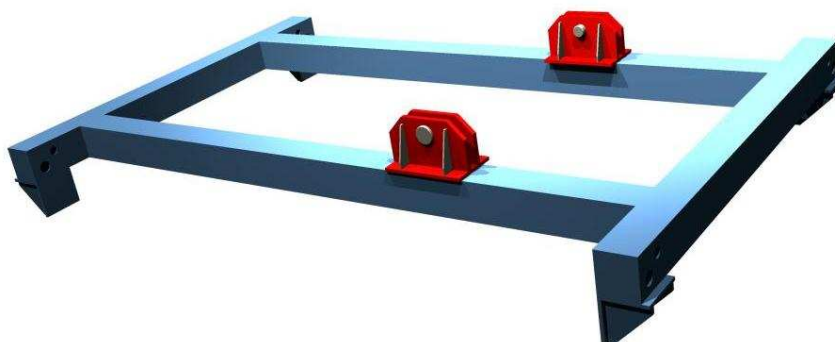
Oba tlaky aj napätie v šmyku a ohybe sú menšie ako dovolené hodnoty, čapový spoj vyhovuje.

4.2 VÝPOČET NOSNÍKA SPOJOVACEJ KONŠTRUKCIE PONTÓNOV (3)

Pásový dopravník je v spodnej časti uložený v čapoch na dvoch spojovacích nosníkoch. Spojovací nosník je tvorený dvoma U profilmi zvarnými pozdĺžne voči sebe a na koncových stranách spojený s priečnym nosníkom. Na dva nosníky v spodnom uložení pôsobí polovica tiaže pásového dopravníka a polovica tiaže dopravovaného materiálu, ktorý spočíva na dopravníku. *Materiál nosníkov 11 373.*



Obr. 4.3 – Schéma priehybu nosníka, zdroj: vlastný náčrt



Obr. 4.4 – Nosník spojovacej konštrukcie (projektový model), zdroj: vlastný model

Východiskové hodnoty

Sila pôsobiaca na 1 nosník

$$F_n = 15046 \text{ N}$$

Rameno pôsobiska sily

$$a_n = 1495 \text{ mm}$$

Rameno pôsobiska sily

$$b_n = 625 \text{ mm}$$

Dĺžka nosníka

$$l_n = 2120 \text{ mm}$$

4.2.1 Veľkosť maximálneho priehybu nosníka

$$y_{\max} = \frac{F_n \cdot a_n^2 \cdot b_n^2}{3 \cdot E \cdot 2 \cdot I_x \cdot l_n} \quad (2) \quad (4.18)$$

$$y_{\max} = \frac{15046 \cdot 1495^2 \cdot 625^2}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 3640000 \cdot 2120}$$

$$y_{\max} = \underline{\underline{1,35 \text{ mm}}}$$

kde je:

E [MPa] – modul pružnosti v ťahu

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

I_x [mm⁴] – kvadratický moment zotrvačnosti prierezu U120

$$I_x = 3\,640\,000 \text{ mm}^4$$

4.2.2 Výpočet ohybového napätia v nosníku

$$\sigma_{on} = \frac{M_{on\max}}{W_{on}} \leq \sigma_{Don} \quad (4.19)$$

Dovolené napätie v ohybe nosníka

$$\sigma_{Don} = \frac{0,6 \cdot \sigma_{Pt}}{k_n} \quad (4.20)$$

$$\sigma_{Don} = \frac{0,6 \cdot 400}{2}$$

$$\sigma_{Don} = \underline{\underline{120 \text{ MPa}}}$$

Maximálny ohybový moment nosníka

$$M_{on\max} = \frac{F_n \cdot a_n \cdot b_n}{l_n} \quad (2) \quad (4.21)$$

$$M_{on\max} = \frac{15046 \cdot 1495 \cdot 625}{2120}$$

$$M_{on\max} = \underline{\underline{6631418 \text{ Nmm}}}$$

Výpočtové napätie v ohybe nosníka

$$\sigma_{on} = \frac{M_{onmax}}{2 \cdot W_{on}} \quad (4.22)$$

$$\sigma_{on} = \frac{6631418}{2 \cdot 60700}$$

$$\sigma_{on} = \underline{\underline{54,6 \text{ MPa}}}$$

kde je:

W_{on} [mm³] – modul prierezu v ohybe

$$W_{on} = 60700 \text{ mm}^3$$

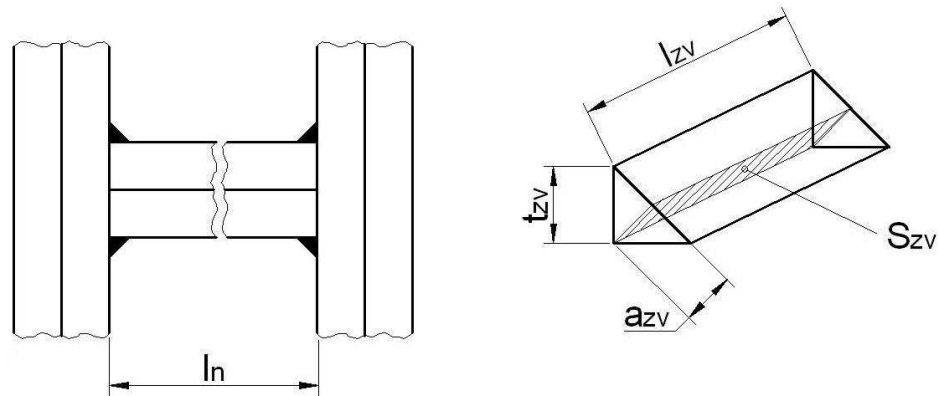
σ_{Pt} [MPa] – medza pevnosti materiálu v ťahu

$$\sigma_{Pt} = 400 \text{ MPa}$$

Maximálny priehyb nosníka $y_{max} = 1,35 \text{ mm}$, čo je zanedbateľná hodnota a napätie v ohybe nosníka je menšie ako dovolené napätie. Nosník *vyhovuje* nastaveným podmienkam.

4.3 VÝPOČET ZVAROVÉHO SPOJA NOSNÍKA (3)

Na jeden nosník pôsobí sila F_n , tento nosník je na koncových stranách spojený s priečnym nosníkom 4 kútovými zvarmi.



Obr. 4.5 – Schéma kútových zvarov na nosníku, zdroj: vlastný náčrt

Výpočtová dĺžka zvaru

$$l_{zv} = 4 \cdot (l' - 1,5 \cdot t_{zv}) \quad (4.23)$$

$$l_{zv} = 4 \cdot (120 - 1,5 \cdot 5)$$

$$l_{zv} = \underline{\underline{450 \text{ mm}}}$$

Namáhaný prierez zvaru šmykom

$$S_{zv} = a_{zv} \cdot l_{zv} = 0,7 \cdot t_{zv} \cdot l_{zv} \quad (4.24)$$

$$S_{zv} = 0,7 \cdot 5 \cdot 450$$

$$S_{zv} = \underline{\underline{1575 \text{ mm}^2}}$$

Šmykové napätie od sily F_n

$$\tau_{II} = \frac{F_n}{S_{zv}} \leq \tau_{Dzv} \quad (4.25)$$

Dovolené napätie zvaru na šmyk

$$\tau_{Dzv} = \alpha_{II} \cdot \sigma_{Dt} \quad (4.26)$$

$$\tau_{Dzv} = \alpha_{II} \cdot \frac{0,6 \cdot \sigma_{Pt}}{k_n}$$

$$\tau_{Dzv} = 0,65 \cdot \frac{0,6 \cdot 400}{2}$$

$$\tau_{Dzv} = \underline{\underline{78 \text{ MPa}}}$$

Výpočtové šmykové napätie v zvaru

$$\tau_{II} = \frac{F_n}{S_{zv}} \quad (4.27)$$

$$\tau_{II} = \frac{15046}{1575}$$

$$\tau_{II} = \underline{\underline{9,55 \text{ MPa}}}$$

Výpočtové šmykové napätie je menšie ako dovolené napätie, zvarový spoj *vyhovuje*.

ZÁVER

V mojej diplomovej práci som sa zaoberal návrhom systému dopravnej trasy vo vodnej pieskovni, pre maximálny hodinový ťažobný výkon od korčekového bagra $Q = 170 \text{ t.hod}^{-1}$. V úvode práce som teoreticky popísal problematiku ťažby piesku z priestoru pod hladinou spodnej vody.

Na začiatku konštrukčného návrhu systému dopravnej trasy vo vodnej pieskovni som namodeloval pásový dopravník (príloha A). Dopravník som navrhol priamo pre potreby a parametre pieskovne s ohľadom na maximálny hodinový ťažobný výkon. Bral som ohľad na maximálne využitie typizovaných súčastí a konštrukčných dielov, z dôvodu následného servisu a prípadných opráv.

V ďalšej časti konštrukčného návrhu som namodeloval plávajúce teleso s plavákmi valcového tvaru (príloha B). Plávajúca otoč je tvorená dvoma plavákmi, spojovacou konštrukciou a nadstavbou (obr. 3.2).

Taktiež som prihliadal na využitie typizovaných súčastí a dielov, ale najvyššie nároky som kládol na bezpečnosť, aby sa minimalizovalo riziko plavebnej nehody na ťažobnom jazere. Z tohto dôvodu som vypracoval podrobný kontrolný výpočet plávateľnosti a stability navrhnutého plavákového telesa s plavákmi valcového tvaru. Tento výpočet som urobil pomocou programu MathCad Profesional a graficko – výpočtovou metódou v programe AutoCad.

Veľkosť ramena pozdĺžnej stability v_v [m] vid' vzťah (3.15) (počítaný pomocou programu MathCad Profesional) na uhle α [deg] naklonenia plávajúcej otoče tvorenej plavákmi valcového tvaru je znázornená v tab. 3.1 a na obr 3.20.

Z Reedovho diagramu je zrejmé, že približne do uhlu naklonenia $\alpha = 19 \text{ deg}$ rameno pozdĺžnej stability v_v [m] plávajúcej otoče narastá, pri tomto uhle je rameno pozdĺžnej stability maximálne ($v_{\max} = 457 \text{ mm}$), potom sa priebeh začína ohýbať. Potom rameno priečnej stability klesá k nule pri naklonení približne $\alpha = 37 \text{ deg}$, pri tomto uhle plávajúce teleso stráca stabilitu.

Konštrukčný návrh uzatvárajú základné technologické výpočty pre spojovaciu konštrukciu, ktorá pevne spája dva plaváky valcového tvaru a v neposlednom rade aj výpočet čapového uloženia pásového dopravníka na plavákové teleso. Všetky technologické výpočty vyhovujú.

Konštrukčný návrh dopravnej trasy sa nachádza vo výkresovej dokumentácii pod názvom MIN091-00-01. Konštrukčný návrh plavákového telesa sa nachádza vo výkresovej dokumentácii pod názvom MIN091-00-02.

Na tomto mieste by som ešte chcel vyjadriť svoje poďakovanie pánovi Doc. Ing. Leopoldovi Hrabovskému, Ph. D. za jeho cenné pripomienky a ochotu pri vedení mojej diplomovej práce.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

Monografie

- (1) KOHN, Vlastimil. *Těžba štěrkopísku z vody*. 1. vydanie. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1980. 171 s. ISBN 1537-80
- (2) LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnícke tabulky: Pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3. vydanie. Praha: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7
- (3) ZELENÝ, Jiří. *Stavba strojů – strojní součásti*. 1. vydanie. Praha: Computer Press, 2000. 155 s. ISBN 80-7226-311-0
- (4) ŽÁDNÍK, Břetislav. *Stavba a opravy lodí*. 1. vydanie. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1980. 464 s. ISBN 31-021-80

Špeciálne pramene

- (5) ČSN ISO 5048. *Zařízení pro plynulou dopravu nákladů: Pásové dopravníky s nosnými válečky*. 1. vydanie. Praha: ČNI, 1994. 16s. ISSN 263102
- (6) Študijné materiály Doc. Ing. Leopolda Hrabovského, Ph.D

Internet

- (7) Internetové stránky spoločnosti Alhozd, s.r.o. Dostupné na World Wide Web: <http://www.alhozd.cz>
- (8) Internetové stránky spoločnosti Matador, s.r.o. Dostupné na World Wide Web: <http://www.matador.sk>
- (9) Internetové stránky spoločnosti Nord, s.r.o. Dostupné na World Wide Web: <http://www.nord.com>
- (10) Internetové stránky spoločnosti Prosand, s.r.o. Dostupné na World Wide Web: <http://www.prosand.cz>

- (11) Internetové stránky společnosti PSP Pohony, a.s. Dostupné na World Wide Web:
<http://www.pohony.cz>
- (12) Internetové stránky společnosti Skanska, a.s. Dostupné na World Wide Web:
<http://www.skanska.cz>
- (13) Internetové stránky společnosti Tranza, a.s. Dostupné na World Wide Web:
<http://www.tranza.cz/cs>

ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK

Obrázky:

Obr. 1.1 – Brehový korčekový bager	20
Obr. 1.2 – Plávajúci korčekový bager	21
Obr. 1.3 – Preprava piesku plavidlami	23
Obr. 1.4 – Plávajúci pásový dopravník s pozdĺžnym plavákovým telesom	24
Obr. 1.5 – Plávajúci pásový dopravník s jednotlivými plavákovými telesami	26
Obr. 2.1 – Schéma sekcie plávajúceho pásového dopravníka	27
Obr. 2.2 – Trojvalčekové usporiadanie dopravnej trasy	29
Obr. 2.3 – Horná stolica pásového dopravníka (projektový model)	29
Obr. 2.4 – 3D model SK 9042.1-132M4 Bre 60-35	35
Obr. 2.5 – Pružná spojka VPS 0,03 (projektový model) - vľavo Pružná spojka VPS 0,03 (schéma) – vpravo	37
Obr. 2.6 – Poháňacia stanica pásového dopravníka (projektový model)	43
Obr. 2.7 – Vratná stanica pásového dopravníka (projektový model)	43
Obr. 2.8 – Šípový čistič dopravného pásu (projektový model)	44
Obr. 3.1 – Plávajúca otoč (projektový model)	45
Obr. 3.2 – Plávajúca otoč – rozmerový náčrt	46
Obr. 3.3 – Nárysne znázornenie zanorenia plaváka valcového tvaru	48
Obr. 3.4 – Plávajúca otoč – pôdorysný náčrt	50
Obr. 3.5 – Plávajúca dopravná trasa s plavákovými telesami valcového tvaru	51
Obr. 3.6 – Základné nárysne rozmery plavákov	52
Obr. 3.7 – Ťažisko výtlaku v 2. fáze zanorenia plavákov	53
Obr. 3.8 – Zanorenie ľavej časti ľavého plaváka, hĺbka zanorenia h_{p1} [m]	54

Obr. 3.9 – Zanorenie pravej časti ľavého plaváka, hĺbka zanorenia h_{p2} [m]	56
Obr. 3.10 – Zanorenie ľavej časti pravého plaváka, hĺbka zanorenia h_{p3} [m]	58
Obr. 3.11 – Zanorenie pravej časti pravého plaváka, hĺbka zanorenia h_{p4} [m]	61
Obr. 3.12 – Súradnice jednotlivých bodov zanorenia ľavého a pravého plaváka v horizontálnej rovine	61
Obr. 3.13 – Plocha S_1 [m ²] zanorenia ľavého plaváka pri vychýlení plávajúcej otoče o uhol α [deg]	62
Obr. 3.14 – Plocha S_2 [m ²] zanorenia pravého plaváka pri vychýlení plávajúcej otoče o uhol α [deg]	63
Obr. 3.15 – Ťažisko výtlaku	63
Obr. 3.16 – Súradnice ťažiska výtlaku v 1. fáze	65
Obr. 3.17 – Súradnice ťažiska výtlaku v 2. fáze	68
Obr. 3.18 – Výpočet uhla α_3 [deg]	71
Obr. 3.19 – Výpočet ťažiska výtlaku v 3. fáze	72
Obr. 3.20 – Reedov diagram pozdĺžnej stability v_v [m]	74
Obr. 4.1 – Schéma čapového uloženia pásového dopravníka	76
Obr. 4.2 – Čapové uloženie pásového dopravníka (projektový model)	77
Obr. 4.3 – Schéma priehybu nosníka	81
Obr. 4.4 – Nosník spojovacej konštrukcie (projektový model)	81
Obr. 4.5 – Schéma kútových zvarov na nosníku	83

Tabuľky:

Tab. 3.1 – Hodnoty ramena pozdĺžnej stability v_v [m] na uhle α [deg] naklonenia plávajúcej otoče tvorenej plavákmi valcového tvaru vypočítané v programe MathCad Profesional	73
--	----

ZOZNAM VÝKRESOVEJ DOKUMENTÁCIE

1. DOPRAVNÁ TRASA MIN091-00-01
MIN091-00-01-K

2. PLAVÁKOVÉ TELESO MIN091-00-02
MIN091-00-02-K

ZOZNAM PRÍLOH

1. PRÍLOHA A – Plávajúci pásový dopravník
2. PRÍLOHA B – Plavákové teleso
3. PRÍLOHA C – Dopravná trasa