

STABILITA PLOVOUCÍ PÁSOVÉ DOPRAVNÍ TRASY

Leopold Hrabovský¹

Klíčová slova: plovoucí pásový dopravník, stabilita, plovatelnost

Abstrakt:

V mezních polohách sestavení dopravníků plovoucí pásově dopravní trasy, již není možno docílit změny polohy dílčích plovoucích otočí po ploše těžebního jezera. Jedna z těchto mezních poloh je definována sestavením dopravní trasy do jedné přímky, kdy vlivem dopředného pohybu těžebního zařízení dochází k úplnému srovnání jednotlivých za sebou sériově řazených dopravníků. Dosažením této mezní polohy uspořádání dopravní plovoucí pásově trasy (a za předpokladu, že navíjecí vrátky jsou dostatečně dimenzovány) pak, při následném dopředném přesunu bagru, dochází k přenosu tahové síly konstrukcemi dopravníků až ke koncovému kozlíku instalovanému a kotvenému na břehu těžebního jezera. Jednotlivé pásové dopravníky jsou tvořeny dostatečně tuhou a délkově neměnnou ocelovou nosnou konstrukcí a tak nárůst tahové síly v kotvicích lanech způsobuje následné prodlužování dopravní trasy, které je možno realizovat pouze vychýlením z rovnovážné polohy plovoucích podpěrných členů dopravníků.

1. Úvod

Plovoucí pásová dopravní trasa sestává z daného počtu pásových dopravníků, viz Obr. 1, které jsou ve svých koncových bodech kloubově uchyceny vůči plovákovým tělesům. Převáděcí vratná část pásového dopravníku je uchycena prostřednictvím horizontálních čepů vůči spojovací konstrukci plováků plovoucího členu, viz Obr. 2,a. Koncová poháněcí část je uchycena horizontálními čepy vůči límci, třením otočné části, násypky umístěné na kozlíku plovákových těles, viz Obr. 2,b.

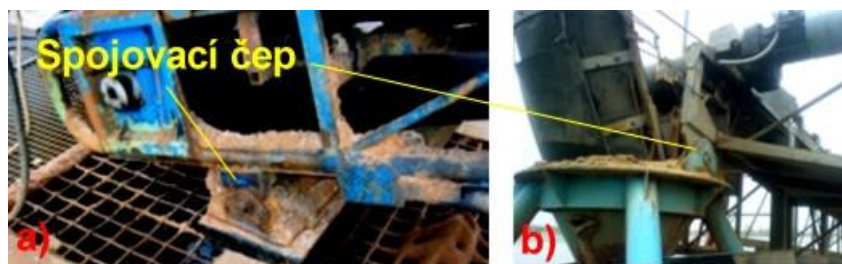


Obr. 1 Plovoucí pásová dopravní trasa s koncovými plováky

V následujícím textu bude uvažováno s plovoucí pásovou dopravní trasou, která je sestavena ze dvou dopravníků a jedné plovoucí otoče. Při přesunu těžebního zařízení (bagru) po ploše těžebního jezera může za jistých okolností (zakázaný stav sestavení plovoucích dopravníků) dojít, vlivem umístění bagru a tahu v jeho kotvicích lanech, k ustavení dílčích dopravníků do jedné přímky.

V tomto uspořádání plovoucí pásově dopravní trasy dochází vlivem navíjení kotvicích lan bagru na lanové bubny k nežádoucímu zatížení plovoucích členů klopným momentem vyvozeným tahovou silou v čelních lanech.

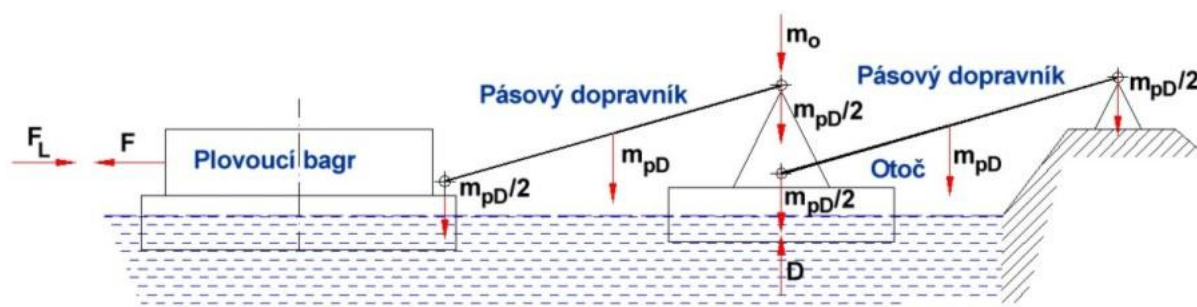
¹ **doc. Ing. Leopold Hrabovský, Ph.D.**, Fakulta strojní, VŠB-TU Ostrava, Ústav dopravních a procesních zařízení, 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava-Poruba, Česká republika, Tel.: +420 597 323 185, Fax: +420 596 916 490, e-mail: leopold.hrabovsky@vsb.cz



Obr. 2 Horizontální čepy a) vratného konce, b) poháněcí části pásového dopravníku

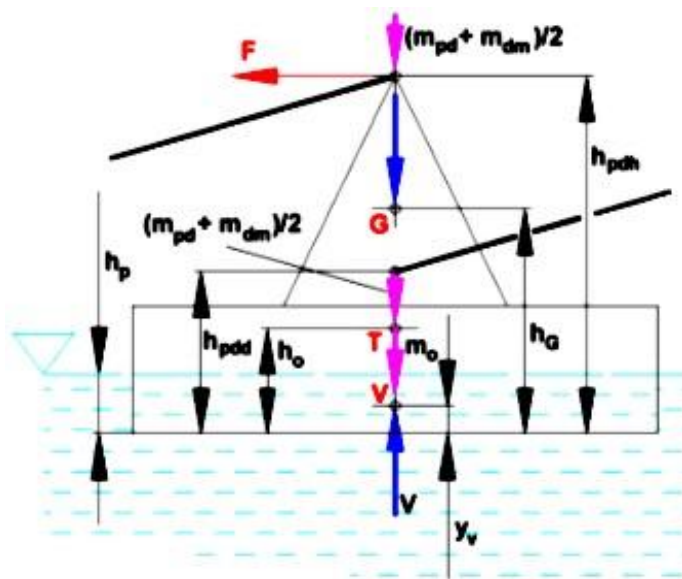
2. Stabilita plovoucí otoče

V řadě za bagrem první pásový dopravník je v místě vratného bubnu instalován na plovákovém tělese těžebního zařízení (bagru) a v místě poháněcí stanice je uchycen prostřednictvím horizontálních čepů na nástavbě plovoucí otoče, viz Obr. 3. Následný pásový dopravník je v místě vratného bubnu kloubově uchycen pomocí horizontálních čepů na plováku plovoucí otoče a v místě poháněcí stanice prostřednictvím horizontálních čepů na nástavbě stabilní nábrežní otoče. V praxi bývá nábrežní otoč pevně kotvena vůči břehu těžebního jezera.



Obr. 3 Plovoucí pásová dopravní trasa

Je-li tahová síla F [N] rovna nule, viz Obr. 4, pak se plovoucí otoč nachází v rovnovážném stavu (úhel naklonění plovoucí otoče $\phi = 0$ deg) a těžiště V výtlačné síly V [N] se nachází na svislé ose symetrie a výtlačná síla V [N] působí kolmo vzhůru proti působení tíhové síly $T = G \cdot g$ [N] plovoucího tělesa (vyjádřené z tíhy plovoucí otoče, tíhy částí pásových dopravníků a tíhy části dopravovaného materiálu).

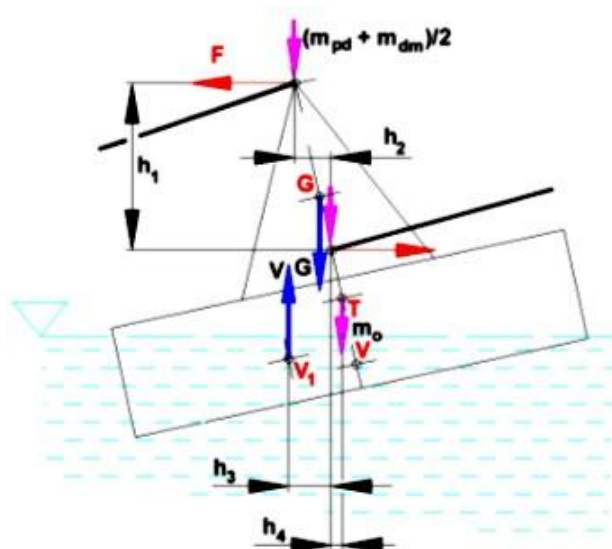


Obr. 4 Plovoucí otoč - rovnovážný stav

Vlivem vyvozené tahové síly kotvicích lan navíjených na lanové bubny umístěné na těžebním zařízení, dochází k dopřednému (nebo zpětnému) přesunu bagru po ploše těžebního jezera, jakož i k přenosu této síly přes nosné konstrukce pásových dopravníků, jejichž délka je neměnná, do

úchytných koncových členů (horizontálních čepů) pásových dopravníků, čímž postupně dochází k prodloužení (nebo zkrácení) délky dopravní trasy a jejímu ustavení do konečné, mezní polohy.

V okamžiku, kdy tahová síla F [N] nabude nenulové hodnoty, viz Obr. 5, se plovoucí otoč vychyluje z rovnovážného stavu o úhel ϕ [deg] a těžiště V výtlačné síly V [N] se přesouvá do polohy označené bodem V_1 . Vychýlením plovoucích podpěrných členů z rovnovážné polohy dochází ke vzniku klopného momentu M_k [Nm] vlivem působení tahové síly F [N] na rameni h_1 [N]. Proti tomuto klopnému momentu působí reakční stabilizující moment M_v [Nm], který má snahu vrátit plovoucí člen do své původní rovnovážné polohy, viz Obr. 5. V okamžiku, kdy klopný moment dosáhne určité velikosti, dochází ke ztrátě stability a plovoucí člen ztrácí schopnost plovatelnosti.



Obr. 5 Plovoucí otoč - nerovnovážený stav

Vzhledem k tomu, že koncová (poháněcí) část druhého pásového dopravníku je mechanicky uchycena vůči stabilní (nábrežní) otoči a ta neumožňuje realizovat horizontální posuv této koncové části dopravníku, dochází (při dopředném pohybu těžebního zařízení při srovnané plovoucí dopravní pásové trase) k vychýlení plovoucí otoče kolem bodu uchycení (dolní vertikální čepy) přední části druhého pásového dopravníku na plovákovém tělese, viz Obr. 5.

Dle [1] je za dovolený úhel příčného náklonu možno volit úhel náklonu ϕ [deg], při kterém právě dojde k zanoření horní hrany paluby plovoucí otoče, nejvýše však $\phi = 6$ deg (jelikož se jedná o plovoucí strojní zařízení).

$$\sum M = 0 : F \cdot h_1 - \frac{m_{pd} + m_{dm}}{2} \cdot h_2 + V \cdot h_3 + m_0 \cdot h_4 = 0 \text{ Nm} \quad (1)$$

$$\text{kde } h_1 = (h_{pdh} - h_{pdd}) \cdot \cos\phi \text{ [m] ,}$$

$$h_2 = (h_{pdh} - h_{pdd}) \cdot \sin\phi \text{ [m] ,}$$

$$h_3 = v + (h_G - h_{pdd}) \cdot \sin\phi \text{ [m] ,}$$

v [m] - rameno stability (vztlaku),

h_G [m] - výška těžiště otoče odečítána ode dna plováku,

$$h_4 = (h_{pdd} - h_0) \cdot \sin\phi \text{ [m] ,}$$

V [kg] - hmotnostní výtlačk plovoucí otoče.

Ze vztahu (1) je možno jednoduchou úpravou vyjádřit hodnotu tahové síly F [N], viz vztah (2).

$$F = \frac{(m_{pd} + m_{dm}) \cdot h_2 - 2 \cdot (V \cdot h_3 + m_0 \cdot h_4)}{2 \cdot h_1} \cdot g \text{ [N]} \quad (2)$$



Obr. 6 Kotevní šrouby mechanicky spojující pásový dopravník s plovoucím členem

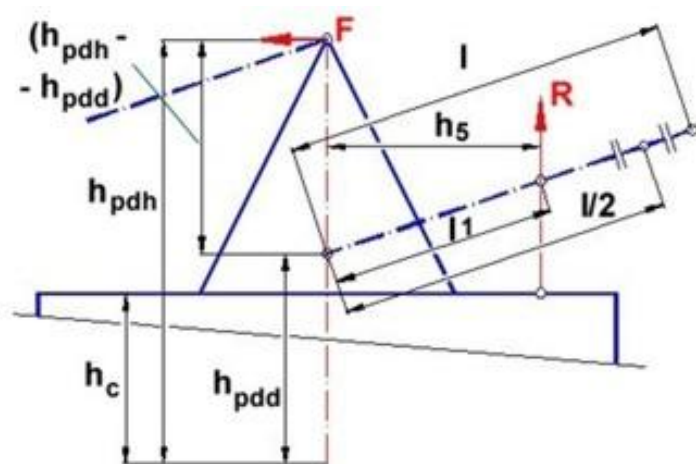
Je-li pásový dopravník mechanicky svázán kotevními šrouby (viz Obr. 6) s plovoucím členem, dochází při navijení kotevních lan na lanové bubny těžebního zařízení, k vyvození tahové síly F [N] v lanech, a důsledkem přesunu bagru po ploše těžebního jezera k nárůstu reakční tlakové síly R [N] v kotevních šroubech, viz vztah (3), který je odvozen dle Obr. 7.

$$\sum M = 0: F \cdot (h_{pdh} - h_{pdd}) - R \cdot h_5 = 0 \text{ Nm} \Rightarrow R = \frac{F \cdot (h_{pdh} - h_{pdd})}{h_5} \text{ [N]} \quad (3)$$

kde h_{pdh} [m] - poloha působíště poloviny tíhy pásového dopravníku v horním uložení, odečítána ode dna plováku,

h_{pdd} [m] - poloha působíště poloviny tíhy pásového dopravníku v dolním uložení, odečítána ode dna plováku,

h_5 [m] - kolmá vzdálenost kotevních šroubů od svislé osy (osy plování) plovoucí otoče nacházející se v rovnovážném stavu (při úhlu naklonění $\phi = 0$ deg). Na Obr. 7 je znázorněna šikmá vzdálenost úchytného bodu kotevních šroubů od horizontálních čepů spojujících pásový dopravník s plovoucí otočí l_1 [m]. Dle vztahu (6) lze určit při známé hodnotě úhlu sklonu pásového dopravníku $\alpha = 10$ deg hodnotu kolmé vzdálenosti h_5 [m].



Obr. 7 Rozměrové hodnoty plovoucí otoče a pásového dopravníku

Zvyšováním takové síly F [N] v kotevních lanech dochází k nárůstu reakční tlakové síly R [N]. Dle Obr. 7 lze odvodit maximální reakční tlakovou sílu R_{max} [N], viz vztah (4), při které právě dochází k vychýlení plovoucí otoče z rovnovážného stavu.

$$R_{max} \cdot h_5 = G_{pd} \cdot \frac{l}{2} \cdot \cos\alpha \Rightarrow R_{max} = \frac{G_{pd} \cdot l \cdot \cos\alpha}{2 \cdot h_5} = \frac{G_{pd} \cdot l \cdot \cos\alpha}{2 \cdot l_1 \cdot \cos\alpha} = \frac{G_{pd} \cdot l}{2 \cdot l_1} \text{ [N]} \quad (4)$$

kde $G_{pd} = (m_{pd} + m_{dm}) \cdot g$ [N] - tíha pásového dopravníku a dopravovaného materiálu,

l [m] - délka pásového dopravníku, viz Obr. 7,

l_1 [m] - šikmá vzdálenost úchytného bodu kotevních šroubů od horizontálních čepů spojujících pásový dopravník s plovoucí otočí,

m_{pd} [kg] - celková hmotnost pásového dopravníku,

m_{dm} [kg] - maximální hmotnost dopravovaného materiálu.

Pokud tahová síla v kotevních lanech těžebního zařízení dosáhne hodnoty F_{krit} [N], viz vztah

(5), začíná docházet k vychýlení plovoucí otoče z rovnovážné polohy a platí momentová rovnice (7).

$$F_{\text{krit}} = R_{\text{max}} \cdot \frac{h_5}{h_{\text{pdh}} - h_{\text{pdd}}} \quad [\text{N}] \quad (5)$$

$$h_5 = l_1 \cdot \cos \alpha \quad [\text{m}] \quad (6)$$

$$\sum M = 0: F \cdot h_1 + \frac{m_{\text{pd}} + m_{\text{dm}}}{2} \cdot g \cdot h_2 - V \cdot g \cdot h_3 - m_0 \cdot g \cdot h_4 - R \cdot h_{51} = 0 \quad \text{Nm} \quad (7)$$

kde h_{51} [m] - vzdálenost kotvících šroubů od osy plovoucí otoče při jejím vychýlení z rovnovážného stavu o úhel ϕ [deg].

Dle vztahu (8) lze určit při známé hodnotě úhlu sklonu pásového dopravníku $\alpha = 10$ deg a úhlu vychýlení plovoucí otoče z rovnovážného stavu ϕ [deg] hodnotu h_{51} [m].

$$h_{51} = l_1 \cdot \cos(\alpha + \phi) \quad [\text{m}] \quad (8)$$

$$R = \frac{2 \cdot [F \cdot h_1 - (m_0 \cdot h_4 + V \cdot 10^{-3} \cdot h_3) \cdot g] + (m_{\text{pd}} + m_{\text{dm}}) \cdot g \cdot h_2}{2 \cdot h_{51}} \quad [\text{N}] \quad (9)$$

3. Závěr

Ze vztahu (7) je možno jednoduchou úpravou vyjádřit (pro hodnotu tahové síly F [N] převyšující kritickou velikost tahové síly F_{krit} [N], viz vztah (5), v závislosti na úhlu ϕ [deg] vychýlení plovoucí otoče z rovnovážného stavu) velikost reakce R [N], viz vztah (9).

Literatura:

- [1] Pravidla pro klasifikaci a stavbu plavidel vnitrozemské plavby, část IV. Stabilita, volný bok. Český lodní a průmyslový registr. Praha 1995.
- [2] Hrabovský, L.: Závěrečná zpráva projektu VaV ČBÚ P.č. 62-08 za 3. čtvrtletí 2009 etapy č. 4 pod názvem „Dynamická stabilita, ověření stability v provozních podmínkách“. Ostrava, září 2009.

Recenzia/Review: *doc. Ing. Gabriel Fedorko, PhD.*