

UDK 621.867.2

Računanje posameznih uporov pri transporterjih s trakom

SAVA ISAKOVIČ

Transporterji s trakom so dandanes med najbolj razširjenimi transportnimi napravami za neprekinjeno transportiranje materiala. Razlaga za tolikšno uporabnost teh transporterjev izvira iz gospodarnosti naprave. Ta gospodarnost je v glavnem odvisna od porabe energije, potrebne za pogon transporterja. Za določanje potrebne pogonske moči transporterja je neogibno potrebno poznati vse upore, ki jih mora premagovati pogonski motor. Upori pri tej napravi so odvisni od cele vrste faktorjev, ki tako ali drugače vplivajo na njihovo velikost. V članku so obravnavani vsi upori, ki se lahko pojavljajo glede na osnovne zahteve: podatke, namen, pogoje dela in konstrukcijsko izvedbo transportne naprave. Avtor je članek dopolnil z diagrami, ki omogočajo hitrejše določanje nekaterih uporov.

1. UVOD

Potrebna moč motorja za pogon obremenjenega transporterja, brez dodatnih uporov, se izračuna po naslednji enačbi

$$P_{bo} = \frac{F_{bo} v}{102} \quad [\text{kW}] \quad (1)$$

kjer pomenijo:

P_{bo} — moč na gredi pogonskega bobna

F_{bo} — vlečna sila na obodu bobna [kp]

v — obodna hitrost bobna = hitrost traka [m/s]

Vlečna sila na obodu bobna je algebrainska vsota sil, potrebnih za horizontalno gibanje traka in materiala, za vrtenje vseh opornih valjčkov in bobnov ter sile, potrebne za dviganje ali spuščanje materiala pri nagnjenem transporterju.

Velikost vlečne sile in s tem tudi potrebno pogonsko moč določajo v posameznih državah ali celo tovarnah zelo različno. V glavnem razlikujemo dve metodi: prvo, da so vsi upori, ki se pojavljajo pri transportiranju, globalno zajeti s faktorjema c in t , in drugo, da vse upore določamo posamezno računsko.

Vsekakor je prva metoda enostavnejša. Računanje posameznih uporov je zamudno, daje pa zlasti pri komplicirani izvedbi in večjih zmogljivostih naprave natančnejše rezultate.

Po JUS M.D2.050 se vlečna sila na obodu bobna določa po hitrem in približnem izračunu z naslednjo enačbo

$$F_{bo} = c t L \left(G_t + \frac{Q}{3,6 v} \right) \pm \frac{Q - H}{3,6 v} \quad (2)$$

kjer pomenijo:

c — faktor, ki upošteva zvečanje vlečne sile zaradi stranskih uporov,

t — koeficient trenja (v ležajih bobnov in valjčkov itd.),

L — dolžino obremenjenega traka (od osi do osi bobna [m],

G_t — težo gibajočih se delov transporterja (traka, bobnov, valjčkov), ki odpade na 1 m dolžine traka, [kp/m],

Q — težo transportiranega materiala v 1 uri, teoretično [Mp/h],

H — višino dviganja ali spuščanja materiala (višinska razlika končnih točk aktivnega dela traka, [m].

1.1. Faktor c

Vrednost za faktor c (tabela 1) je pri večini računskih osnov vzeta kot $c = f(L)$.

Faktor c zajema: upore, ki nastajajo zaradi obračanja traka na bobnih, trenje v čepih teh bobnov (razen pogonskega bobna) in upore za čistilne naprave traka in bobna.

Kakor je razvidno iz tabele 1, ima faktor c poseben pomen pri krajših transporterjih. Ravno zaradi tega so po DIN 22101 imeli vrednosti za c določene le do 500 m. Novejše raziskave so ugotovile, da se vrednosti za c že od $L = 100$ m naprej razlikujejo od vrednosti, ki jih podaja omenjeni DIN. Tabelarično podane vrednosti po JUS pa se popolnoma ujemajo s temi na novo dognanimi vrednostmi.

1.2. Koeficient t

Koeficient trenja t zajema vse glavne upore: upore trenja in upore zaradi upogibanja traka, ko teče prek opornih valjčkov, ter upore zaradi mečkanja traka in materiala.

Po JUS M.D2.050 so podane vrednosti za t :

0,016 ... 0,018 — za stabilne, dobro izvedene naprave s kotalnimi ležaji, za transportiran material z neznatnim notranjim trenjem,

0,018 ... 0,020 — za naprave s poprečnimi okoliščinami dela,

0,020 ... 0,025 — za težke razmere pri delu (možnost vdiranja prahu v ležaje, lepljiv material),

0,05 — za naprave z drsnimi ležaji.

V praksi se je pokazalo, da je koeficient t v zimskem času večji, npr. pri napravah s kotalnimi ležaji do 0,03.

Iz spredaj tako detajliranih vrednosti za koeficient t je razvidno, da bi bilo zgrešeno vzeti ta koeficient kot konstanto, npr. 0,025, kakor to upoštevajo nekateri tuji standardi.

Pri transportiranju materiala navzdol je potrebno upoštevati še izračun, pri katerem se namesto t vstavlja v enačbo $t/2$, in od obeh izračunanih vrednosti je vsekakor odločilna večja vrednost za moč.

Tabela 1. Vrednosti za faktor c po JUS M.D2.050

$\frac{L}{(m)}$	c	$\frac{L}{(m)}$	c	$\frac{L}{(m)}$	c	$\frac{L}{(m)}$	c
pod 4	9	16	3,6	80	1,85	400	1,23
4	7,6	20	3,2	100	1,74	500	1,19
5	6,6	25	2,9	125	1,64	630	1,15
6	5,9	32	2,6	160	1,53	800	1,12
8	5,1	40	2,4	200	1,45	1000	1,10
10	4,5	50	2,2	250	1,37	1250	1,08
12,5	4	63	2	320	1,29		

3. GLAVNI UPORI

3.1. Tekalni upori opornih valjčkov

Ta upor se določa po enačbi

$$W_t = \left(q_t + q_m + \frac{G}{l} \right) L w' \quad [\text{kp}] \quad (11)$$

kjer so:

G — teža vrtečih se delov ene valjčne opore,

l — razdalja med valjčki,

L — dolžina obravnavanega dela na progi transporterja (teoretično se lahko vzame za majhne naklone transporterja horizontalna projekcija),

w' — koeficient upora valjčnih opor.

Za računanje tekalnih uporov neobremenjene veje traka je $q_m = 0$.

V tabeli 2 podane vrednosti za w' se nanašajo na transporterje s pravilno izbranimi parametri: napenjanjem traka, naložbo materiala in razdaljo med valjčki. Pri odstopanju teh parametrov od že utrjenih — sprejetih — norm se koeficient upora w' spreminja. Če se povečuje napenjanje traka, se zmanjšuje w' , narašča pa pri večanju količine materiala kakor tudi razdalje med valjčki.

Koeficient w' je odvisen tudi od temperaturnih razlik, kvalitete strege za transporter, porazdelitve materiala na traku in od lastnosti materiala. Ocena empirične veličine s tolikerkimi spremenljivimi faktorji ne dopušča zadosti natančnega določanja tekalnega upora pri opornih valjčkih. Zaradi tega so v zadnjem času delali poskuse za določanje tekalnih uporov, ne da bi upoštevali ta klasični koeficient upora.

Pri inštitutu za transportno tehniko tehnične visoke šole v Hannoveru so bile pod vodstvom prof. Vierlinga opravljene kompleksne raziskave gibalnih uporov. Ti upori so zajeti v tri skupine: tekalni upor opornih valjčkov, upor zaradi mečkanja traka in upor zaradi upogibanja traka pri teku prek bobna.

Rezultati raziskave za tekalne upore so naslednji: tekalni upor je sila U' na obodu valjčka, ki premaguje trenje v ležajih in tesnilih pri določeni obremenitvi ležaja G in obodni hitrosti v .

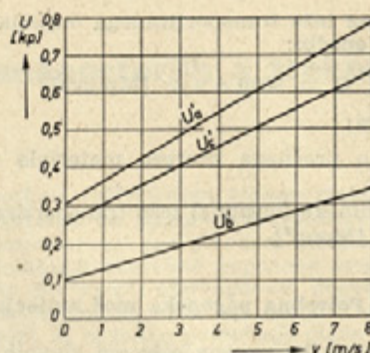
Upor enega samega opornega valjčka je (glej diagram sl. 2):

a) za trdno os in elastično tesnilko (premer valjčka 90 / 89 / mm)

$$U_a' = 0,30 + 0,06 v \quad [\text{kp}] \quad (12)$$

b) za trdno os z labirintnim tesnilom (premer valjčka 90 / 89, 110 / 108 in 130 / 133 / mm)

$$U_b' = 0,10 + 0,03 v \quad [\text{kp}] \quad (13)$$



Sl. 2. Diagram tekalnih uporov enega opornega valjčka

c) za konzolno uležajenje z labirintnim tesnilom (premer valjčka 160 / 159 / mm)

$$U_c' = 0,25 + 0,05 v \quad [\text{kp}] \quad (14)$$

Raziskave so pokazale, da na velikosti sile U' zelo malo vpliva obremenitev ležaja in zaradi tega v enačbah sploh ni zaobsežena.

Tekalni upor se potem določa glede na število valjčkov. Za raven trak je

$$W_t = U' (Z_z + Z_s) \quad [\text{kp}] \quad (15)$$

Z_z — število valjčkov v zgornji obremenjeni veji,

Z_s — število valjčkov v spodnji veji traka.

Pri koritasti obliki traka z zlogom trodelnih opornih valjčkov v zgornji veji

$$W_t = U' (3 Z_z + Z_s) \quad [\text{kp}] \quad (16)$$

Na pensilvanski univerzi so izdelali kombinirano metodo za določanje uporov pri opornih valjčkih tako, da so sočasno ocenjevali posebej stalne upore in upore, ki izvirajo iz spremenljive obremenitve.

Rezultati teh raziskav so pokazali, da upori vrtenja valjčkov vplivajo na porabo energije znatno manj kakor predpostavljamo z upoštevanjem klasičnega koeficienta upora. Ugotovljeno je bilo tudi, da imata natezna sila v traku in razmik med valjčki bistven vpliv na porabo energije.

Tudi pri tej metodi se kaže kot pomanjkljivost veliko število empiričnih vrednosti (kakor so koeficient upora v obremenjeni in neobremenjeni veji traka).

Tabela 2. Odpornostno število w' za nosilne valjčke s kotalnimi ležaji.

Obratovalne razmere	Opis obratovalnega stanja transporterja	Odpornostno število w'	
		ploščati valjčki	koritasti valjčki
ugodne	čist in suh prostor brez prahu, ki je ločen od transportiranega materiala	0,018	0,020
normalne	kurjen prostor z malenkostno vsebino prahu in normalno vlažnim zrakom	0,022	0,025
neugodne	nekurjen prostor na planem z veliko prahu in veliko vlage ter drugim, kar za delo ležaja ni ugodno	0,035	0,04

3.2. Upori zaradi mečkanja traka in materiala

Pojavljajo se trije različni upori:

1) upor zaradi stiskanja transportnega traka pri teku prek opornih valjčkov; ta upor je odvisen od polmera valjčka, obremenitve, hitrosti, elastičnosti in notranjega dušenja traka;

2) upori zaradi valovitega upogibanja transportnega traka, ki so odvisni od razdalje med opornimi valjčki, povesa traka in obremenitve, hitrosti, elastičnosti in notranjega dušenja traka;

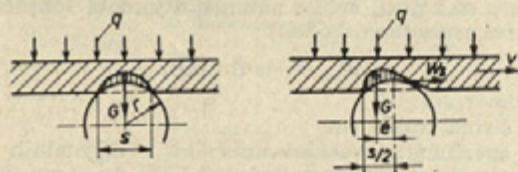
3) upori zaradi mečkanja — gnetenja transportnega materiala —; ti so odvisni od trenja na zgornji površini traka, velikosti kosov materiala, nasipne teže in hitrosti traka.

Glede na številne različne vplive bi bilo nemogoče podajati te upore v obliki koeficienta ali jih prikazati tabelarično v odvisnosti od izmer traka.

Teoretične in laboratorijske raziskave, ki jih je vodil Lachmann za dognanje teh vplivov, vodijo k računskim enačbam, ki po vstavljanju ustreznih fizikalnih konstrukcijskih veličin ponovno dajejo koeficient t .

3.2.1. Upor zaradi stiskanja traka

Pri teku transportnega traka prek opornih valjčkov se elastična gumijasta prevleka traka vtisne. Med mirovanjem oporni valjčki pritiskajo na trak simetrično, pri gibanju traka pa nesimetrično. Vtisnjena površina je med gibanjem traka manjša kakor med mirovanjem. Upor zaradi stiskanja traka je torej odvisen od njegove hitrosti v (sl. 3).



Sl. 3. Stiskanje traka pri mirnem in gibljivem traku

Rezultirajoča sila G deluje na os opornega valjčka z ročico e (težiščno razdaljo od osi valjčka) in izziva moment, iz katerega se dobi upor stiskanja.

$$W_s r = G e \quad (17)$$

Vzmetno delo pri stiskanju gume se ne pridobi ponovno popolnoma; ta izguba energije se lahko prikaže kot histerezna izguba ali z dušilnim koeficientom φ .

Težiščna razdalja e vtisnjene površine je proporcionalna z dušilnim koeficientom

$$e = \varphi \frac{s}{2} \quad (18)$$

Če vzamemo, da je med mirovanjem na valjčku vtisnjena površina traka enaka ravni ploskvi, na katero pritiska valj, dobimo po Hertzovi enačbi dolžino tetive vtisnjene površine

$$s = 2 \sqrt{\frac{8 G_{tm} r (1 - \mu_p^2)}{E \cdot \pi \cdot b}} \quad [\text{cm}], \quad (19)$$

pri čemer so:

G_{tm} — obremenitev valjčkov (trak + material) [kp],

r — polmer valjčka [cm],

E — modul elastičnosti gume [kp/cm²],
(z vložki $E \approx 50 \dots 55 \text{ kp/cm}^2$),

b — nosilna širina valjčka [cm],

μ_p — Poissonova konstanta za gumo
($\mu_p \approx 0,475$)

Z vstavitvijo vrednosti iz momentne enačbe v Hertzovo enačbo se po Lachmannu dobi upor pri stiskanju traka

$$W_s = \frac{G \varphi}{r} \sqrt{\frac{8 \cdot G_{tm} \cdot r (1 - \mu_p^2)}{b \cdot \pi \cdot E}} = 0,195 \varphi \sqrt{\frac{G_{tm}}{r b}} \quad [\text{kp/valjček}] \quad (20)$$

Za dušilni koeficient φ je prof. Vierling za trak s 5 vložki B60 in 2-milimetrsko zgornjo in spodnjo gumijasto kritno plastjo podal naslednje vrednosti:

$\varphi_0 \approx 0,17$ za normalno naložen trak — obremenjen

$\varphi_n \approx 0,32$ za prazen trak — neobremenjen.

Zaradi vpliva hitrosti je:

$$W_s = 0,195 \varphi \sqrt{\frac{G^3}{r b}} + C_f \cdot v \quad (21)$$

$C_f = 0,0045$ — konstanta, dobljena s poskusi.

3.2.2. Upor zaradi valovitega upogibanja traka

Pri določanju tega upora je treba upoštevati poves traka. Ker je poves h odvisen od razmika l med opornimi valjčki in natezne sile v traku [$h/l = f(S)$], je pomembno doseči čim manjše upore, da odnos h/l ne prekorači neke dopustne vrednosti. Pri daljših transportnih trakovih se izbira razmik med valjčki pod obremenjeno vejo traka stopničasto, tako da je pri manjši sili v traku manjši razmik med valjčki in narašča (od nakladalne postaje proti pogonski postaji) glede na silo v traku. Tako so povesi majhni (okoli 2 % od razmika med valjčki) in spremembe upogibne obremenitve traka neznatne.

Zaradi povesa med opornimi valjčki in upogiba traka prek valjčkov je trak valovit. Med gibanjem traka se pojavlja zaradi upogibne togosti traka — preoblikovanje z majhno zakasnitvijo, ki vpliva na obliko valovanja traka. Trak tudi niha, kar pa lastnost gumija nekoliko duši. Delo, ki je potrebno za preoblikovanje, se zaradi samodušenja traka ne povrne v celoti.

Delež dela A_p , ki je bilo izgubljen, se po Lachmannu določa z domnevo, da pri tako majhnem upogibku upogibna črta traka ustreza upogibku obojestransko vpetega nosilca po enačbi:

$$A_p = \varphi' A = \varphi' \frac{l}{2} \int \frac{M_{Bx}^2 dx}{E J} \quad (22)$$

pri čemer so:

φ' — upogibna dušilna konstanta ($\varphi' = 0,32 \dots 0,38$)

M_{Bx} — upogibni moment v neki točki x [kp/cm]

J — vztrajnostni moment [cm⁴]

E — modul elastičnosti [kp/cm²]

Dognano izgubo dela mora nadomestiti sila na obodu valjčka

$$A_v = W_v l \quad (23)$$

in če v enačbi za upor namesto J vstavimo razmerje $\frac{h}{l}$,

dobimo

$$W_v = 0,267 \varphi' G_l \frac{h}{l}; \quad \left(= \frac{0,33 \varphi' G_l^2}{S_{tr}} \right) \quad (24)$$

Upor W_v je odvisen tudi od hitrosti traka, kar upoštevamo s pribitkom vrednosti $C_2 v$

$$W_v = 0,267 \varphi' G_t \frac{h}{l} + C_2 v \text{ [kp/valjček]} \quad (25)$$

G_t — obremenitev valjčka s trakom [kp],

S_{sr} — srednja velikost natezne sile v traku [kp],

C_2 — konstanta, dobljena s poskusi in zaokrožena na vrednost $C_2 = 0,0018$.

3.2.3. Upori zaradi mečkanja transportnega materiala

Pri valovanju traka se na njem naloženi material prav tako stalno mečka — preoblikuje. Upori, ki nastajajo pri tem, so odvisni od trenja materiala na zgornji površini traka in kompaktnosti razsutega transportiranega materiala. Zaradi raznolikosti materialov, ki jih je mogoče transportirati s trakom, in njihove delne nehomogenosti se ta upor računsko skoraj ne da določiti.

Raziskave, ki jih je vodil Lachmann, so pokazale, da je mogoče izračunati ta dodatni upor zavoljo mečkanja materiala po enačbah, dobljenih za določanje upogibnih izgub W_v , ker ima tudi upogibek traka poseben pomen. S poskusi je bila podobno določena dušilna konstanta materiala; za material z nasipnim kotom 34° (pesek, prod, zemlja) znaša $\varphi'' = 0,18$. Za drug sipki material z nasipnim kotom β pa je:

$$\varphi'' = 0,18 \frac{\tan \beta}{\tan 34^\circ} \quad (26)$$

Tako se upor pri mečkanju (gnetenju) materiala izračuna po naslednji enačbi:

$$W_M = 0,267 \varphi'' G_m \frac{h}{l} \text{ [kp/valjček]} \quad (27)$$

G_m — obremenitev valjčka po materialu [kp]

Vpliv hitrosti se tudi tukaj upošteva s prištevanjem člena $C_3 v$, pri čemer se jemlje $C_3 = 0,0018$

$$W_M = 0,267 \varphi'' G_m \frac{h}{l} + C_3 v \text{ [kp/valjček]} \quad (28)$$

Velikost upora W_M je odvisna še od konstrukcijske izvedbe opornih valjčkov in njihove oddaljenosti. Upor pri mečkanju materiala je večji pri koritasti obliki traka ali večji razdalji med valjčki.

Z upoštevanjem faktorja v obliki

$\psi = 1,0$ za raven trak

$\psi = 1,3$ za trak s stranskima valjčkoma pod 20°

$\psi = 1,6$ za trak s stranskima valjčkoma pod 30°

se izračuna upor W_M po enačbi:

$$W_M = \psi (0,267 \varphi'' G_m \frac{h}{l} + C_3 v) \text{ [kp/valjček]} \quad (29)$$

3.2.4. Povzetek

Za računsko določanje celotnega upora zaradi mečkanja traka in materiala je potrebno določati posamezne upore, ki nastajajo v zgornji veji traka, ter upore, ki nastajajo v spodnji veji.

Za zgornjo vejo je, če upoštevamo znane enačbe in koeficiente, upor na enem valjčku

$$\begin{aligned} W_{MZ} = & \psi \left[0,195 \varphi_0 \sqrt{\frac{G_{tm}^2}{r \cdot b}} + 0,0045 v + \right. \\ & + 0,267 \varphi' G_t \left(\frac{h}{l} \right)_Z + 0,0018 v + \\ & \left. + 0,267 \varphi'' G_m \left(\frac{h}{l} \right)_Z + 0,0018 v \right] \text{ [kp]} \end{aligned} \quad (30)$$

Za spodnjo vejo traka:

$$\begin{aligned} W_{MS} = & 0,195 \varphi_n \sqrt{\frac{G_t^2}{r \cdot b}} + 0,0045 v + \\ & + 0,267 \varphi' G_t \left(\frac{h}{l} \right)_s + 0,0018 v \text{ [kp]} \end{aligned} \quad (31)$$

Celotni upor je

$$W_{M\text{ cel}} = W_{MZ} (Z_Z + 1) + W_{MS} (Z_S + 1) \text{ [kp]} \quad (32)$$

Z_Z — število valjčkov pri ravnem traku, pri koritastem pa število kompletov v zgornji veji traka;

Z_S — število valjčkov v spodnji veji traka.

4. STRANSKI UPORI

4.1. Upori, ki nastajajo zaradi obračanja — upogibanja traka prek bobna

Raziskave so pokazale, da je ta upor odvisen od izvedbe — oblikovanja traka, premera bobna in natezne sile v traku. Čim večji je premer bobna, tem bolj upor pada; čim večja je natezna sila v traku, tem bolj narašča in čim večje je število vložkov v traku in s tem debelina traka, tem bolj se upogibni upor zveča. Nasprotno pa hitrost traka le neznatno vpliva na ta upor.

Objemni kot (normalno je $\alpha = 180 \dots 210^\circ$) prav tako zelo malo vpliva na velikost obračalnega — upogibnega upora traka. Upor se pojavlja samo pri pri-tekanju in odtokanju traka na boben oz. z njega, ker na vsem upognjenem delu traka pri teku prek bobna ni opravljeno nobeno dodatno delo, torej ni nobenih dodatnih uporov.

Iz preskusnih raziskav je bila dobljena enačba, s katero se z dosti veliko natančnostjo dobi »obračalni« upor (za posamezen boben)

$$W_{ob} = w B \text{ [kp]} \quad (33)$$

pri čemer sta

B — širina traka cm

w — specifični obračalni upor, ki v normalnih razmerah znaša $w \approx 0,05 \dots 0,1$ kp na 1 cm širine traka.

Določi pa se po enačbi:

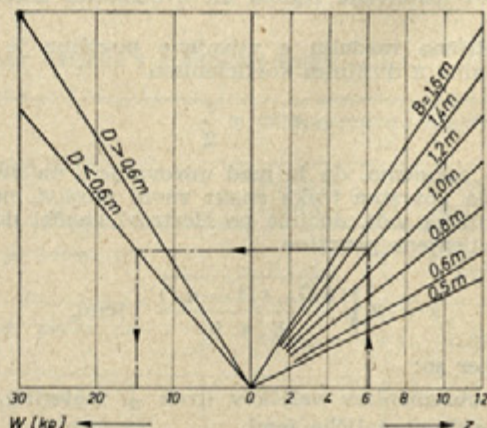
$$W = X \left(\xi + \frac{S_{sr}}{B} \right) \frac{s_t}{D_b} \text{ [kp/cm]} \quad (34)$$

X — 0,09 — brezdimenzijski faktor za trak s tekstilnimi vložki,

ξ — 14 kp/cm — konstanta za tekstilni trak,

S_{sr} — srednja velikost vlečne sile v traku,

D_b — premer bobna [cm].



Sl. 4. Približno določanje upora pri obračanju traka

Pri številu i obračanja (preusmerjanja) traka prek bobna je upor

$$W_{ob} = i w B \quad [\text{kp}] \quad (35)$$

Pri projektiranju krajših transporterjev do dolžine 10 m, npr. vmesni dodajalnik pri spreminjanju transportne smeri; ta upor vidno vpliva na izračun ozir. izbiro traka.

Za daljše transporterje se lahko ta upor določa približno iz diagrama na sliki 4.

4.2. Upori v ležajih bobnov (obračalni in usmerjalni)

Velikost tega upora je odvisna od obremenitve osi — gredi, trenja v ležaju in razmerja med premeroma bobna in osi.

Obremenitev osi je odvisna od sile v traku in teže bobna (rotirajočih delov)

$$W_L = \mu \frac{d_o}{D_b} \sum (S_{na} + S_{od} + G_b) \quad [\text{kp}] \quad (36)$$

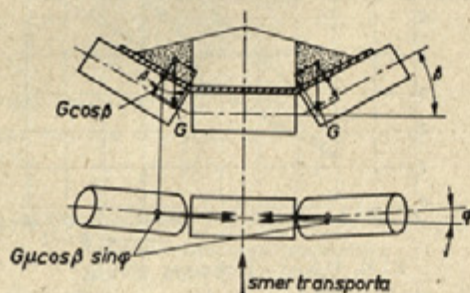
μ — 0,005 koeficient trenja za kotalne ležaje,

d_o — premer osi,

S_{na} in S_{od} sila v traku pri točki, kjer trak doteka na bobnen ozir. odteka z njega.

4.3. Upor zaradi naklona stranskih valjkov — vodilnih

Novejše konstrukcije daljših transporterjev imajo za oporo koritastega ali žlebastega traka nekaj valjčnih opor, pri katerih so stranski valjčki nagnjeni v slogu (JUS M.D.2.070; $\varphi = 0 \dots 30$ v odvisnosti od hitrosti).



Sl. 5. Trenje med trakom in stranskim vodilnim valjčkom

Nagnjeni stranski valjčki v transportni smeri prisilijo trak, da teče ravno (sl. 5). Zaradi trenja med trakom in stranskimi valjčki nastaja upor. Pri izrednem teku trak zdrse proti sredini in zaradi tega delujeta nanj dve sili trenja $G \mu \cos \beta$; njuna komponenta v smeri teka traka je upor

$$W_V = 2 G \mu \cos \beta \sin \varphi \quad (37)$$

Če je na transporterju nameščenih Z valjčnih zlogov z nagnjenimi valjčki, tedaj je:

$$W_V = Z \cdot 2 G \mu \cos \beta \sin \varphi \quad [\text{kp}] \quad (38)$$

G — obremenitev stranskega valjčka [kp],

μ — koeficient drsnega trenja med trakom in valjčkom $\mu = 0,2 \dots 0,4$.

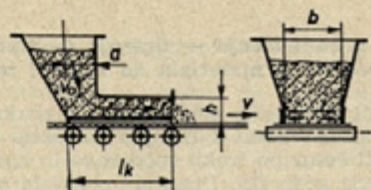
4.4. Upor pri steni vodilnega korita

Na mestu nakladanja in razkladanja materiala na trak oz. z njega se pojavljajo upori zaradi drsenja materiala ob nepremičnih stenah vodila (sl. 6). Sila trenja na obe stranici vodila in s tem tudi upor je:

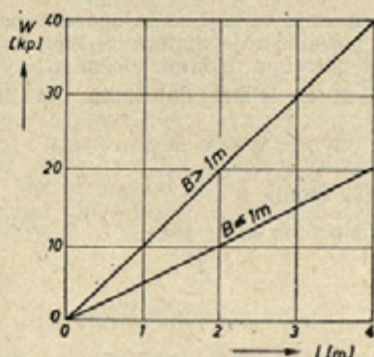
$$W_K = \mu \gamma h^2 l_K \lambda \quad [\text{kp}] \quad (39)$$

μ — koeficient trenja med vodilom in materialom,

γ — nasipna teža materiala,



Sl. 6. Upori na mestu nakladanja



Sl. 7. Upori na steni vodilnega korita

h — višina vodila, po katerem drsi material,

l_K — dolžina vodila

λ — koeficient bočnega pritiska, ki se lahko jemlje $\lambda = 1$.

Ta upor se lahko približno ocenjuje po diagramu na sliki 7.

4.5. Upor na mestu nakladanja materiala iz bunkerja na trak

Ta upor nastaja zaradi pritiska stebra materiala na trak in se določa po enačbi:

$$W_N = k q_m + G_a w' \quad [\text{kp}] \quad (40)$$

k — koeficient, ki je pri $v \leq 1 \text{ m/s}$ enak 0,7 m, pri $v > 1 \text{ m/s}$ pa 0,9 m,

G_a — sila aktivnega pritiska materiala na trak [kp],

w' — koeficient upora pripadajočih opornih valjkov.

Za vodoraven trak transporterja (ali dodajalnika) se ta sila G_a — v odvisnosti od oblike izstopne odprtine bunkerja in z upoštevanjem hidravličnega radija — določa po naslednjih enačbah

$$\text{za okroglo odprtino} \quad G_a = 1,1 \gamma D^3$$

$$\text{za kvadratno odprtino} \quad G_a = 1,4 \gamma a^3 \quad (41)$$

$$\text{za pravokotno odprtino} \quad G_a = 2,8 \gamma \frac{a^2 b^2}{a + b}$$

Za poševne trakove

$$G = G_a k_\delta \quad (42)$$

k_δ — koeficient naklona transportnega traka

$$k_\delta = \cos^2 \delta + \varphi_i \cdot \sin^2 \delta \quad (43)$$

φ_i — koeficient premikanja nasipanega transportiranega materiala

$$\varphi_i = \frac{0,18}{\mu_i} \quad (44)$$

μ_i — koeficient notranjega trenja materiala

$$\mu_i = \tan \varphi \geq \tan \beta \quad (45)$$

β — nasipni kot sipkega materiala,

φ — kot notranjega trenja.

4.6. Upor zaradi trenja — drsenja — materiala in pospeševanje materiala do hitrosti traka

Material priteka z oddajne — nakladalne — postaje na trak navadno z manjšo hitrostjo od hitrosti traka, zaradi česar po traku spodrsava in zaostaja, tako da ga je treba pospešiti. Drsenje materiala prihaja bolj do veljave, če je trak gladek. Material se mora pospešiti od določene začetne hitrosti v_0 do končne hitrosti v , ki je identična s hitrostjo traka (sl. 6).

Celotni upor je sestavljen iz upora zaradi drsenja in upora za pospeševanje materiala. Za premagovanje tega upora je potrebna dodatna vlečna sila v traku.

Celotni upor lahko določimo po impulznem izreku

$$W_p = q \Delta v = q (v - v_0) \quad (46)$$

q — masni tok fluida

Sekundni pretok mase je:

$$\frac{Q}{3,6 g}$$

torej je upor

$$W = \frac{Q}{3,6 g} (v - v_0) \quad (47)$$

Q — zmogljivost v Mp/h

Bahr podaja enačbe za računanje teh uporov; za pospeševanje:

$$W_p = \frac{Q t_p a}{3,6 g} = \frac{Q (v - v_0)}{3,6 g} \quad [\text{kp}] \quad (48)$$

za trenje med trakom in materialom:

$$W_{tr} = \frac{Q t_p \mu}{3,6 g} = \frac{Q (v - v_0)}{3,6 g} \quad [\text{kp}] \quad (49)$$

Pri tem jemlje za maksimalni pospešek

$$a = \mu g \quad [\text{m/s}^2] \quad (50)$$

čas pospeševanja:

$$t_p = \frac{v - v_0}{g} \quad (51)$$

Ker je $W_p = W_{tr}$, je dodatni vlek v traku

$$W_p = W_{tr} = \frac{Q (v - v_0)}{3,6 g} \quad [\text{kp}] \quad (52)$$

Če je $v_0 \geq v$, je sila enaka nič.

V praksi se tega upora izognemo, če izberemo za dotekanje materiala na trak enako ali za 10 % večjo hitrost od hitrosti traka.

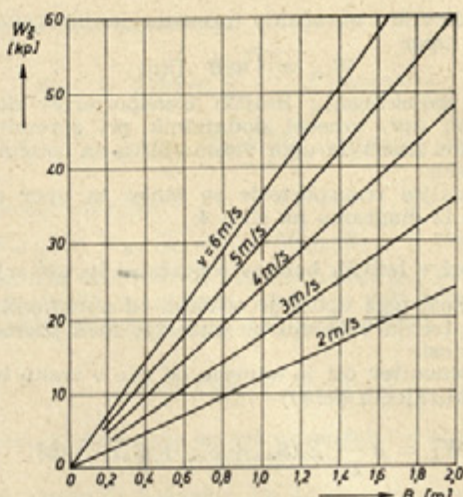
Določanje in upoštevanje tega upora ima poseben pomen pri kratkih transportnih trakovih.

4.7. Upori čistilnih naprav za trak in boben

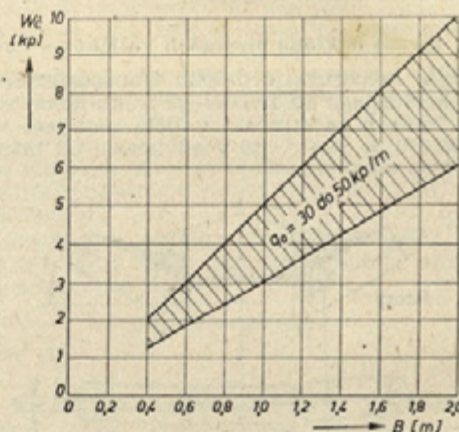
Ti upori so v primerjavi z vsemi upori, ki lahko nastajajo pri tračnem transporterju, zelo majhni.

Čistilniki traka in bobna so lahko poševna oz. plužna strgala ali rotacijske čistilne ščetke, ki jih pritiska na trak ali boben vzmet ali utež. Upori se lahko približno določajo glede na pritisk in trenje med čistilnikom in trakom oz. bobnom.

a) Upori čistilnih rotacijskih ščetk W_s , maksimalne vrednosti po diagramu sl. 8.



Sl. 8. Maksimalne vrednosti upora na čistilni ščetki



Sl. 9. Upori čistilnega stroja

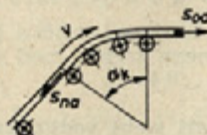
Opomba: Obodna hitrost ščetke je okrog 2- do 3-krat večja od hitrosti traka.

b) Upori čistilnega strgala traka in bobna W_s po diagramu sl. 9. q_e — specifični upor čistilnega strgala [kp/m].

4.8. Upori na krivinah

Če se transportira material sprva po poševnem delu transporterja, nato pa vodoravno naprej (glej sl. 1), nastajajo upori za vodenje traka po tej krivini.

Za določanje upora na krivinah moramo poznati silo v traku tik pred pritekom traka na krivino in kot pregibanja traka (sl. 10).

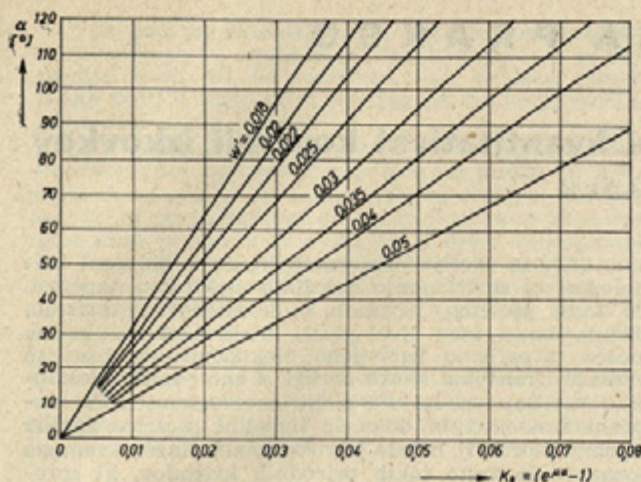


Sl. 10. Upori na krivinah

Večji upori se pojavljajo pri konveksnih krivinah, medtem ko se pri konkavnih lahko zgodi, da se trak niti ne dotika opornih valjčkov (pri zagonu).

Upor na konveksnih krivinah se določa po enačbi:

$$W_{Kr} = S_{na} (e^{w'ak} - 1) = S_{na} K_k \quad [\text{kp}] \quad (53)$$

Sl. 11. Diagram vrednosti konstante K_k

V diagramu sl. 11 so podane vrednosti za konstanto K_k za različne vrednosti w' .

Če je produkt $w' \alpha_k \leq 0,1$, računamo ta upor enostavneje po enačbi:

$$W_{Kr} = S_{ad} w' \alpha_k \quad [\text{kp}] \quad (54)$$

Za znano silo pri odtekanju traka s krivine po enačbi:

$$W_{Kr} = S_{ad} (1 - e^{-w' \alpha_k}) \quad [\text{kp}] \quad (55)$$

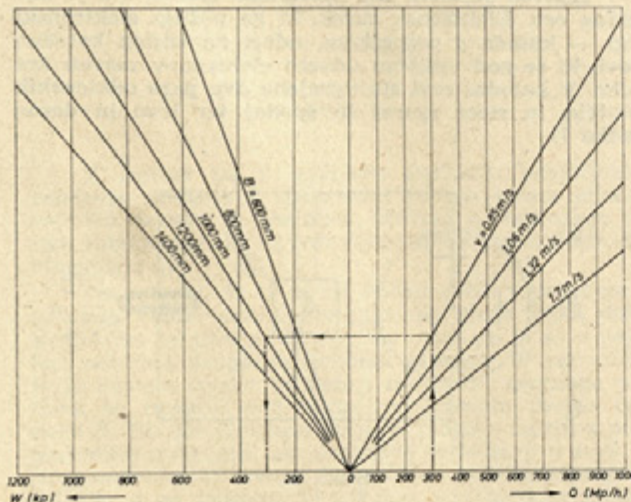
w' — koeficient upora po tabeli 2,

α_k — kot krivine v radianih.

4.9. Upor plužnega snemala za snemanje transportiranega materiala

V diagramu na sl. 12 so podane srednje vrednosti za upore plužnega snemala za material.

Največja hitrost traka pri praznjenju traka s plužnim snemalom sme dosegati 1,7 m/s.



Sl. 12. Upor plužnega snemala za material

4.10. Upori pri izpraznjevalnem vozičku

Za izpraznjevanje traka na poljubnem mestu transportne poti se uporabljajo izpraznjevalni vozički, ki so lahko pritrjeni na določenem mestu ali pa so prevozniki.

Za pritrjene vozičke je potrebno uporu za dviganje materiala, izračunanemu po enačbi (10), prišteti še upore v ležajih bobna. Ta pribitek se lahko jemlje glede na širino traka nekako 15 do 50 % od upora za dviganje materiala. Nasploh pa je treba upoštevati še upore pri pregibanju traka pri teku prek bobna.

Izpraznjevalne vozičke (normalno se gibljejo s hitrostjo do 1/10 hitrosti traka) lahko žene eden od obračalnih bobnov ali pa imajo lasten vojni pogon. Če je le mogoče, izvedemo vojni pogon z lastnim motorjem, zlasti če se mora voziček gibati s popolno obremenitvijo. V nasprotnem primeru se zaradi povečanja uporov zvečuje sila v traku in največkrat lahko vpliva na število vložkov v traku.

4.11. Upori drsne proge

Za delo na »tekočem traku« (montažna in podobna dela) se zaradi mirnejšega teka traka izvedejo drsne ali kombinirane opore. Pri drsni opori trak drsi po fiksni opori na vsej delovni dolžini, pri kombinirani pa je drsna opora izmenoma prekinjena z valjčno oporo.

Upor zaradi drsenja traka pri pritrjeni opori

$$W_d = (q_t + q_m) L \mu_d \quad (56)$$

Upor pri kombiniranih oporah sestoji iz upora na drsni progi in tekalnega upora opornih valjkov. Normalno se izvede tako, da polovico obremenitve zaradi teže traka in materiala prevzema drsna, drugo polovico pa valjčna opora.

$$W_{dk} = 0,5 (q_t + q_m) L \mu_d + \left[0,5 (q_t + q_m) \frac{G}{l} \right] L w' \quad (57)$$

μ_d — koeficient drsnega trenja

$\mu_d = 0,35 \dots 0,6$ za gumijev trak — jeklo

$\mu_d = 0,4 \dots 0,7$ za gumijev trak — skobljan les (če teče trak v smeri vlakna).

w' — glej tabelo 2.

LITERATURA

- [1] O. A. Spivakovski; V. K. Djačkov: Conveyors and related equipment, Moskva.
- [2] F. Kurt; Stetigförderer: Verlag Technik, Berlin, 1967.
- [3] H. P. Lachmann: Verfahren zur Ermittlung der Einzelwiderstände bei der Leistungsberechnung von Förderbändern, Fördern und Heben, št. 8 (1958), H. 1.
- [4] A. Vierling: Untersuchungen über die Bewegungswiderstände von Bandförderanlagen. Fördern und Heben št. 6 (1956) H. 2 (str. 131 do 142).
- [5] A. Vierling: Neberwiderstände von Bandförderanlagen. Fördern und Heben, št. 8 (1958) H. 8.
- [6] A. Ackermann: Das Förderband und seine Berechnung. Technische Rundschau, Bern 1954, št. 6.
- [7] DIN 22102 (1952).
- [8] JUS M.D2.050, 060 in 070.

Avtorjev naslov:

dipl. ing. Sava Isaković,
docent na Fakulteti za strojništvo
Univerze v Ljubljani