

Slika 7

zelo občutljivih libelah, s sedemdecimalnimi tabelami za trigonometrične funkcije po tej enačbi kota φ ne moremo izračunati dovolj natančno.

S slike 7 lahko dobimo tudi naslednjo enačbo:

$$H + K - \frac{K}{\cos \varphi} = L \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Iz te enačbe je spet mogoče izračunati kot φ , vendar dobimo za prakso zelo neprimerno obliko. Ker pa za zelo majhne kote φ lahko postavimo $\cos \varphi \approx 1$, so zgornja enačba poenostavi v

$$\operatorname{tg} \varphi \approx \operatorname{arc} \varphi \approx \frac{H}{L}$$

Numerični preizkus pokaže, da je tako narejena napaka tudi za najbolj občutljive libele dopustna in zato smemo naš preurejeni preizkuševalnik libel imeti za prostop tangensov merilnik, čeprav se tipalo komparatorja dotika zgornje ploskve konjička namesto ploskve, ki bi bila paralelna z mizo in bi šla skozi vrtišče mize.

Avtorjev naslov: doc. ing. Hinko Muren,
Fakulteta za strojništvo,
Ljubljana

DK 621.867.8

Pnevmatični transportni žleb

(ZRAČNA DRČA)

NEDELJKO PERIČ

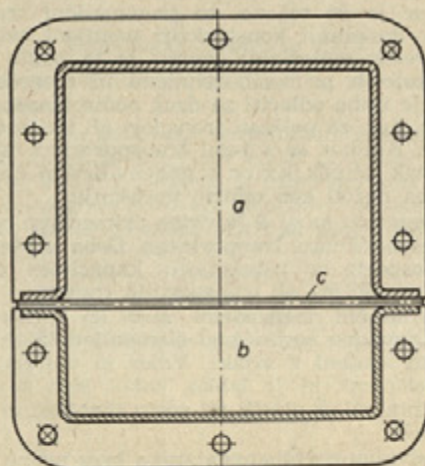
1. Navzdol nagnjen pnevmatični transportni žleb

Uvod

Pnevmatični transportni žleb je za prašen material transportna naprava brez konkurence. Nenadomestljivi so pnevmatični transportni žlebovi za ekonomičen notranji transport med posameznimi obrati, posebno pa so zelo prikladni pri uporabi za rinfuzno nakladanje, pri katerem naj doseže storilnost do 300 t/h. Pnevmatični transportni žleb je najbolj ekonomično transportno sredstvo zaradi majhne porabe pogonske moči, preproste izvedbe in načina delovanja, zanesljivosti med pogonom in čuvanjem materiala, ki ga transportiramo. Nobeni gibljivi deli ne prihajajo v dotiko s transportnim materialom, kar pomeni njegovo varovanje, obenem pa seveda dolgo življenjsko dobo za napravo. Najbolj dobrodošlo pa je, da se s pnevmatičnim transportnim žlebom transportira brez prahu. Pnevmatični transportni žlebovi so se zelo dobro obnesli v industriji cementa. Razen tega so v rabi v živilski industriji in za transport elektrofilitrskega pepela. Načelo, na katerem temelji delovanje pnevmatičnega transportnega žleba, je, da se prašna gmota, v kateri je kapilarno porazdeljen zrak, obnaša kakor tekočina. Pri kapilarno pomešanem zraku obdaja le-ta do določene mere vsako zrno prahu. To zračno obdajanje onemogoča medsebojno sprje-manje prašnih delcev in zmanjšuje trenje na površini žleba toliko, da dobiva zmes prahu in zraka lastnost tekočine, obenem pa nastaja med porozno ploščo in materialom tenka zračna blazina, kakršne odteka na rahlo nagnjeni ploskvi. Da se onemogoči medsebojno razdvajanje prenesene gmote in zraka, je potrebna enakomerna kapilarna porazdelitev zraka po vsej transportni poti, in to s tem, da je na vsaki točki pod porozno ploščo ali platnom enak tlak.

Potrebni stisnjeni zrak se dobiva iz ventilatorjev ali kompresorjev.

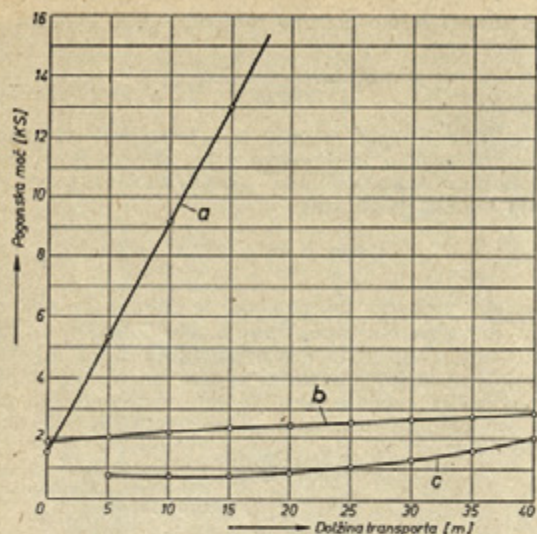
Medtem ko so se predvsem uveljavili pnevmatični transportni žlebovi na ventilacijski pogon, se tak žleb s kompresorskim pogonom uporablja le tam, kjer imamo opravka s sorazmerno kratkimi transportnimi razdaljami in je pri njegovem vgrajevanju na razpolago kompresorski tlak.



Sl. 1. Prerez pnevmatičnega transportnega žleba

Opis

Za boljši prikaz funkcije pnevmatičnega transportnega žleba je v naslednjem podan kratek opis delovanja. S slike 1 je razvidno, da je to zaprto žlebasto korito v štirikotni obliki, ki je s porozno ploščo ali tkanino razdeljeno na dva prostora. Zgornji prostor (a) je prostor za transport gmote, ki jo lahko označimo kot zmes materiala in zraka. Spodnji prostor (b) pa je prostor, v katerega se dovaja zrak. Med obema prostoroma (a in b) je vstavljena porozna mineralna plošča (kremenčeva sigla) ali tkanina, na kateri leži prašna gmota, ki jo transportiramo. Z ventilatorjem v spodnji prostor (b) vpihavamo zrak, ki prehaja porazdeljen skozi porozno ploščo ali tkanino po vsej dolžini žleba v gornji prenosni prostor (a) in s tem tudi v gmoto, ki jo prenašamo. S tem prehaja gmota, kakor je že navedeno, v stanje, ki je podobno tekočinskemu, hkrati pa se pojavlja tenka zračna blazina med porozno ploščo in gmoto; ker je žleb položen po



Sl. 2. Diagram s primerjavo pogonske moči pnevmatičnega transportnega žleba, transportnega traka in transportnega polža

a — polž, b — transportni trak, c — pnevmatični žleb

vsej dolžini s padcem 4 do 6 %, teče material brez nadaljnega pogona in samo z lastno kinetično energijo proti iztoku.

Kakor je že rečeno, so pnevmatični transportni žlebovi v dosednji konstrukciji nagnjeni zato, da se doseže pretok materiala; čeprav je ta nagib majhen, ga v nekaterih primerih tehnično ni mogoče izvesti. Tedaj se je treba odločiti za drug način transportiranja materiala, npr. za polžasti transport ali pa za transport s trakom. Kolikor se s temi transportnimi napravami doseže enak učinek kakor s pnevmatičnim žlebom, pa je le treba načeti eno odprto vprašanje.

V diagramu na sl. 2 je vidna primerjava pogonskih moči pnevmatičnega transportnega žleba glede na dolžino transporta z ustrežajočo kapaciteto običajnih transportnih polžev ali transportnih trakov.

Pnevmatični transportni žleb iz konstruktivnih razlogov navadno sestavljajo elementi dolžine od 2 do 4 m, ki so spojeni z vijaki. Vmes je vloženo tesnilo. Porozni element, ki je lahko, kakor sem že navedel, porozna mineralna plošča ali gosta tkanina, se vstavlja pri montaži.

Za odvajanje vpihanega zraka brez prahu je treba vgrajevati v zgornji del žleba prezračevalno odprtino v vsak posamezni žlební element, ki ga prekrijemo s filternim platnom. Da se platno ne napihne, se prekriva z mrežo ali perforirano pločevino. Prezračevalni izrezi rabijo hkrati za čistilne odprtine, predvsem tedaj, če je žleb po daljši prekinitvi obratovanja potreben čiščenja. Prav tako kakor je npr. pri polžastem prenosu možno dovajanje ali odzemanje na mnogih poljubnih mestih, je to izvedljivo tudi pri pnevmatičnem transportnem žlebu. Posebna prednost tega sistema je, da je menjava smeri možna v isti višini žleba, kakor da ni višinskih razlik v obliki stopnice. Pri vsakem drugem prenosnem sistemu z enako nalogo je potrebno postaviti eno nad drugo več prenosnih naprav in s tem tudi več ali vsaj dva pogona.

Priključki pnevmatičnega transportnega žleba na dovajalna mesta so napravljeni s tako imenovanimi zaključnimi elementi. Začetni element vsake zračne drče žleba se zapira s čelno pločevino, na katero je navadno elastično priključen ventilator. Ventilatorji pa so lahko priključeni tudi na katerem koli poljubnem mestu na spodnjem zračnem žlebu zračne drče, npr. tudi na koncu žleba.

Elastična zveza med pnevmatičnim transportnim žlebom in ventilatorjem je potrebna, da onemogoča prenos vibracij iz ventilatorja na pnevmatični transportni žleb.

Če se dovaja gradivo v pnevmatični transportni žleb na več mestih, je smotno nameščanje ventilatorja na koncu žleba in vgrajevanje zasunov v zračni žleb tako, da je možno izključiti dovod zraka v dovajalni element, ki ni v pogonu.

Za nadzor delovanja pnevmatičnega transportnega žleba so vgrajena na straneh pnevmatičnega transportnega žleba steklena opazovalna okna, in to na vsak element po eno.

Pnevmatični transportni žlebi se polagajo na podpore, ki so oddaljene po 4 m. Če je za prenos potrebna izvedba pnevmatičnega transportnega žleba v višino, se žleb postavlja na stebričkih.

Pnevmatični transportni žlebi se izdelujejo za notranji kakor tudi za zunanji transport.

Slika 3 kaže shematičen videz pnevmatičnega transportnega žleba z ventilatorjem.

Teoretična razlaga

Shema 4 prikazuje teoretične osnove pri prenašanju nagnjenega žleba, ki je podolžen prerez nagnjenega pnevmatičnega žleba v običajni konstrukciji.

Gonilna sila v smeri x , torej v podolžni osi žleba, nastaja po težnosti materiala, ki ga prenašamo.

Če smo mnenja, da je pretok prenašanega materiala stacionaren, tedaj je gonilna sila F nasprotno enako velika sili trenja. Tako dobimo enačbo:

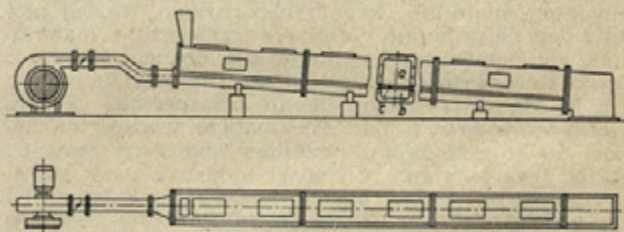
$$F - W = 0 \quad (1)$$

kjer pomeni W odpor prenašanega materiala.

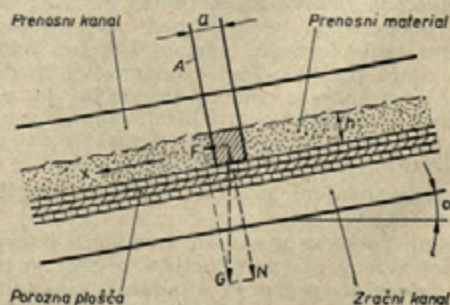
Po sliki 4 dobimo:

$$F = a h b \gamma \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

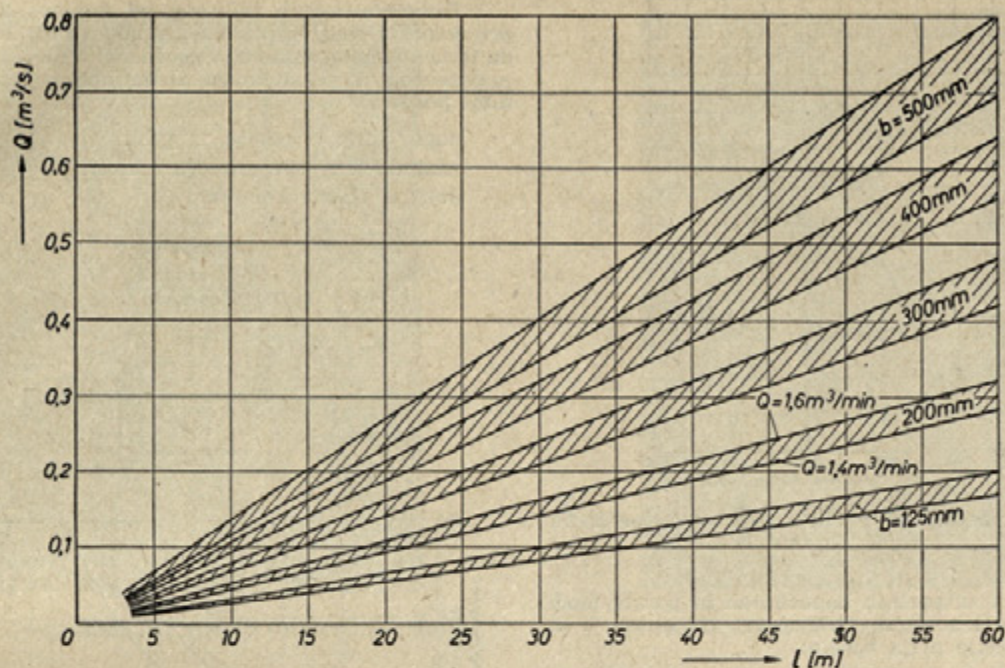
Če vzamemo F v odnosu na prerez pretoka prenašanega materiala, dobimo s tem tlak p , ki nastaja



Sl. 3. Shematski videz pnevmatičnega transportnega žleba z ventilatorjem



Sl. 4. Teoretične osnove pri prenašanju nagnjenega pnevmatičnega žleba



Sl. 5. Diagram količine zraka v odvisnosti od dolžine žleba pri različnih širinah žleba, tlaku $p = 500 \text{ mm H}_2\text{O}$ in specifični teži $\gamma = 1200 \text{ kp/m}^3$

zaradi teže elementa prenašanega materiala, debeline a , na ploskev prereza $A = h \cdot b$ v smeri x , od koder izhaja

$$p \frac{F}{A} = a \cdot \gamma \cdot \sin \alpha \quad (3)$$

Če dvigamo žleb pri iztoku toliko, da je nagib $\alpha = 0$, torej toliko, da leži žleb vodoravno, dobimo horizontalen pnevmatični žleb, o katerem bo beseda pozneje.

Izračun površinskega tlaka s tehničnimi podatki:

nagib (vrednost vzeta iz prakse)	5,5 %
nasipna teža prenesenega materiala	900 kp/m^3
dolžina pnevmatičnega žleba	1 m

Iz enačbe (3) dobimo, da je

$$\text{tlak } p \approx 50 \text{ kp/m}^2 (= 50 \text{ mm H}_2\text{O}).$$

Poraba in proizvodnja zraka

Normalno se uporablja za proizvodnjo tlačnega zraka pri transportu cementa ventilator s tlakom do 500 mm H₂O.

Poraba zraka je dana:

$Q = 1,4 \dots 1,6 \text{ m}^3/\text{min}$ za vsak m^2 efektivne površine žleba.

Iz diagrama na sl. 5 je razvidna količina zraka v odvisnosti od dolžine pnevmatičnega žleba pri različnih širinah pri tlaku $p = 500 \text{ mm H}_2\text{O}$.

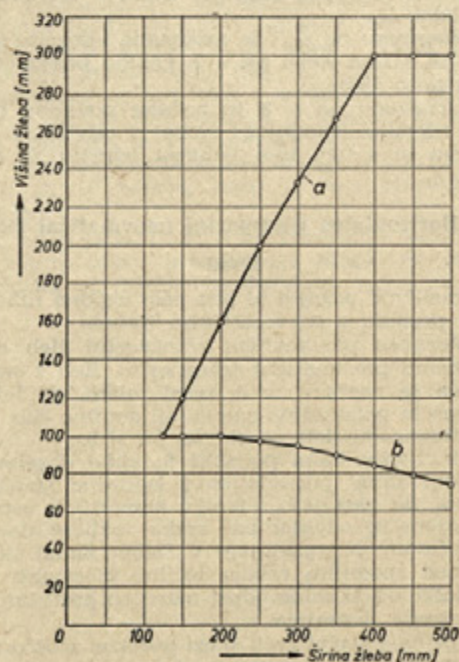
Diagram velja za cement s specifično težo $\gamma = 1200 \text{ kp/m}^3$.

V primeru, če je v bližini projektiranega pnevmatičnega transportnega žleba instalacija za stisnjeni zrak, se transportni žleb uvede na pogon s stisnjenim zrakom. Komprimirani zrak je treba najpoprej s filtrom očistiti olja in vode. Takšna naprava ni tako ekonomična, ker delajo vsi kompresorji normalno z nadtlakom, večjim od 1 at. Vsekakor lahko z reducirnim ventilom zmanjšamo tlak, zaradi česar pa je izkoristek zelo slab.

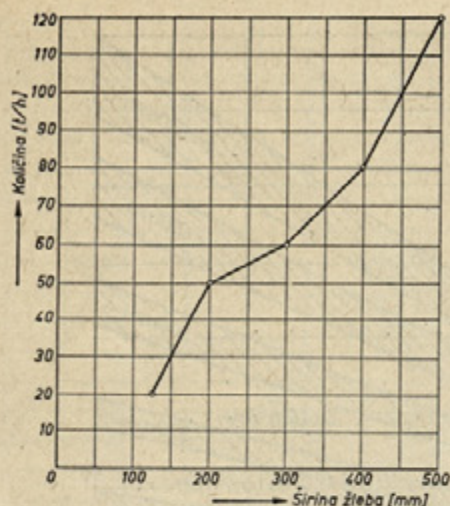
Kapaciteta in poraba moči

Velikost ventilatorja dobimo iz računa koristne površine žleba.

V splošnem lahko pri ventilatorjih računamo s povprečjem, da je za $1 \text{ m}^3/\text{min}$ zraka potrebna pogonske moči okrog 0,15 KS. Povprečna pogonska moč pri kompresorskem pogonu pa znaša približno 3 KS na $1 \text{ m}^3/\text{min}$ zraka (pri čemer pa mora biti tlak reduciran na 1 at-mosfero).



Sl. 6. Diagram višine zgornjega (a) in spodnjega žleba (b) pri 4 % nagibu v odvisnosti od širine žleba



Sl. 7. Diagram kapacitete v odvisnosti od širine žleba pri 4 % nagibu

Pregled o transportnih kapacitetah in porabi moči pnevmatičnih žlebov za transport cementa ($\gamma = 1200 \text{ kp/m}^3$) daje nižja tabela:

Širina žleba mm	Kapaciteta pri 4 % nagibu t/h	Poraba moči [KS] pri dolžini transporta m			
		5	10	20	50
125	20	0,27	0,45	0,62	1,20
200	50	0,38	0,75	1,10	2,40
300	60	0,40	0,85	1,30	2,90
400	80	0,50	1,00	1,60	3,60
500	120	0,55	1,10	2,00	4,50

Za izračun pnevmatičnega transportnega žleba je na uporabo še diagram na sl. 6 za določanje višine zgornjega (a) in spodnjega (b) žleba v odvisnosti od širine žleba.

V diagramu na sl. 7 je prikazana kapaciteta v odvisnosti od višine žleba pri 4 % nagibu pnevmatičnega transportnega žleba.

V diagramu na sl. 8 je podana površina preseza vhodne odprtine (spodnjega žleba) v odvisnosti od širine žleba in s tem tudi velikost odprtin za prezračevanje.

2. Horizontalen transportni pnevmatični žleb

Uvod

V različnih pogojih bi bila zelo ugodna raba vodoravnega prenosa s pnevmatičnim žlebom.

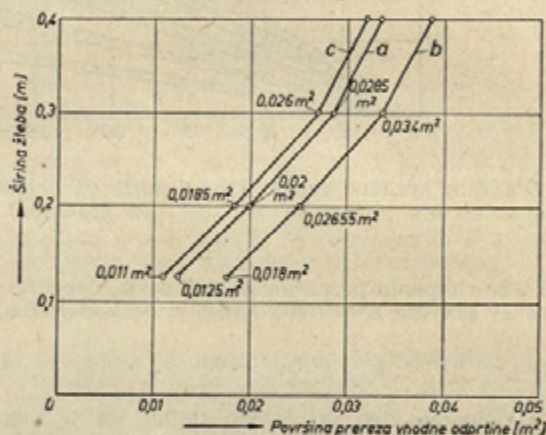
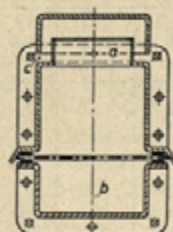
Vodoraven pnevmatični transportni žleb dobimo, če dvignemo pnevmatični transportni žleb z nagibom toliko, da je nagib $\alpha = 0$, torej toliko, da leži žleb vodoravno in poizkusimo zamenjati gonilno silo. S tlačnimi diferenciali dobimo shemo po sl. 9.

Sestavljanje tlaka po sliki 9 lahko dosežemo, če je pretočni kanal porazdeljen z ločilnimi stenami (iz pločevine), da nastajajo s tem v komorah z ustreznim vpihavanjem in odvajanjem zraka različni tlaki. Ločilne pločevine se vgrajujejo v žlebn kanal tako, da ostaja med spodnjim robom ločilne pločevine in porozno ploščo oz. tkanine odprt ustrezen pretočni prerez za prenašanje materiala.

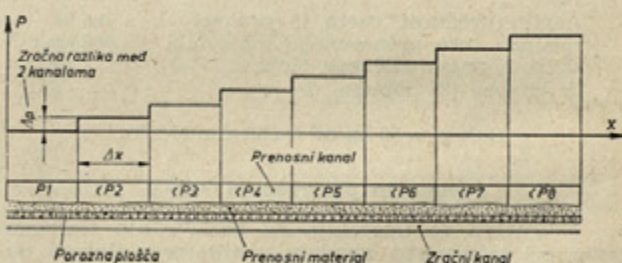
Ce prihaja tlačni zrak skozi porozno ploščo in prenašani material v komoro pretočnega kanala, se tu zaradi zračnega odpora pojavljajo tlaki, in sicer zaradi ločilnih sten.

Količino tlačnih diferenc od komore do komore pri določeni dolžini posamezne lahko določimo s tem, da izračunamo gonilno silo po enačbi 3 danega, navzdol nagnjenega pnevmatičnega žleba npr. s temi tehničnimi podatki:

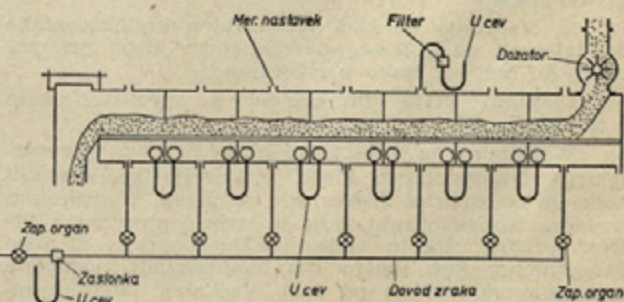
nagib (min. vrednost iz prakse) 5,5 %
nasipna teža prenašanega materiala 900 kp/m^3
dolžina tlačne komore 1 m



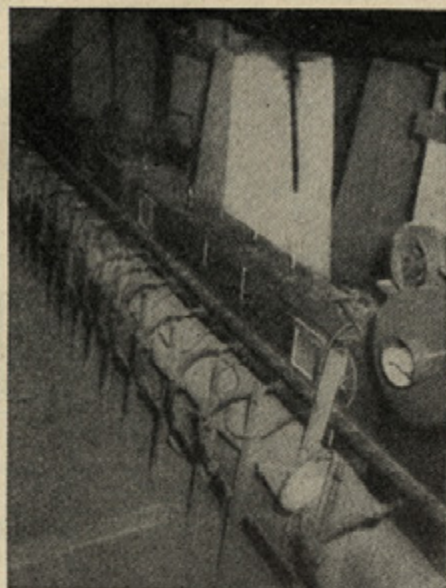
Sl. 8. Površina preseza vhodne odprtine (b) v odvisnosti od širine žleba in s tem tudi velikosti odprtin za prezračevanje



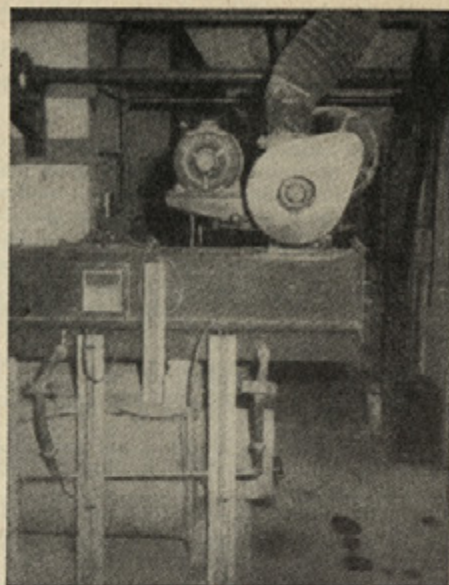
Sl. 9. Shema tlačne diference pri vodoravnem transportnem žlebu



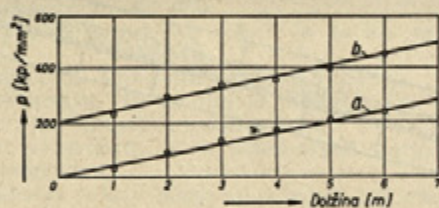
Sl. 10. Razporeditev preiskave z vodoravnim žlebom



Sl. 11. Preizkuševalni žleb z dovodnim zrakom



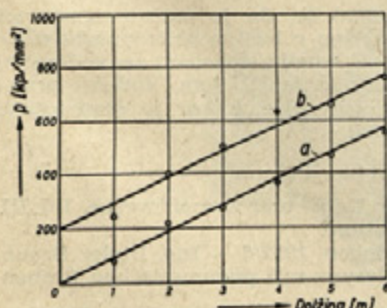
Sl. 12. Dodajanje materiala z dozatorjem



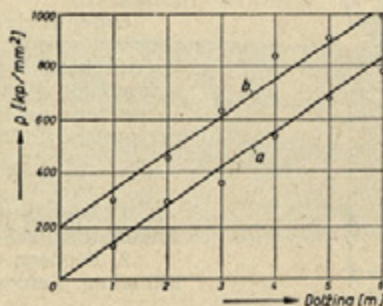
Sl. 13. Razvoj tlakov v posameznih komorah vodovodnega žleba

Če vstavimo našete vrednosti v enačbo 3, dobimo tlak na površini $p = 50 \text{ kp/m}^2$. To je tlačna diferena med dvema komorama, ki imata dolžino po 1 m. To pa pomeni, da lahko dela vodoraven transportni pnevmatični žleb, če doseže razlika tlaka od komore do komore že navedeno vrednost. Omeniti pa je treba, da ni dopustna poljubna dolžina tlačne komore, kajti od neke kritične dolžine naprej, ki jo je treba določiti s preizkusi, se material v žlebu ne premika več.

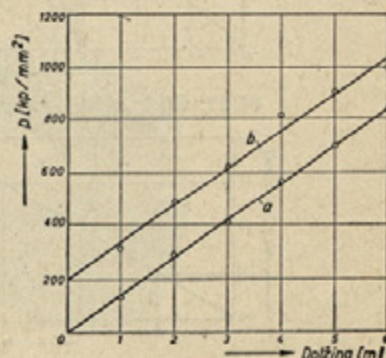
S preizkusi je bilo ugotovljeno, da je dolžina komore funkcija nasipne teže γ in tangencialne napetosti τ prenašanega materiala, razdalja med porozno ploščo in spodnjega robu ločilne stene kakor tudi množine prenašanega materiala.



Sl. 14. Žleb s 5 % nagibom



Sl. 15. Žleb z 10 % nagibom



Sl. 16. Žleb s 15 % nagibom

Potek preiskave

V naslednjem nekaj o poteku preiskave, ki jo je izvedel W. Isler (Holderbank — Svica).

Dolžina preizkusnega žleba je bila 6 m, širina 250 mm. Shema o razporeditvi naprave je razvidna s slik 10 in 11. Učinek dozatorja pri dotoku je znašal 20 t/h; rabil je predvsem kot agregat za vzdrževanje tlaka v prvi tlačni komori. Dodati je treba, da pri 20 t/h ni bil izkoriščen učinek glede prenosa materiala v žlebu. Kakor je razvidno s slike 10, je porazdeljen v tlačne komore kanal pod porozno ploščo, in sicer v enake dele kakor kanal nad porozno ploščo. Ta porazdelitev daje najbolj ekonomične pogoje glede porabe tlačnega zraka. Pri izvedbi v industriji je bilo možno narediti tlačne komore tlačnega kanala daljše, in sicer v večkratni dolžini komor v prenašalnem kanalu. S to zgoščeno porazdelitvijo in zaporami v vodih za dotok zraka je bilo možno dobro regulirati tlak zraka v tlačnem kanalu kakor tudi tlak v komorah v prenašalnem kanalu. Tlaki so bili merjeni v gornjih in spodnjih tlačnih komorah, in to absolutni in relativni. Nadalje je bila merjena celotna, v žleb dovajana količina zraka. Sliki 11 in 12 kažeta, kako je bila preiskava pripravljena.

Na obeh posnetkih je na kontrolnih oknih dobro vidna višina plasti prenašanega blaga. Že omenjeni iztok prahu ob zaključku žleba ni viden na slikah.

Tlaki v komorah, ki so bili merjeni na obeh kanalih, so podani v diagramu na sl. 13.

Iz diagrama je razvidno, da znaša razlika v tlaku med tlačnimi komorami v 1 m dolgem prenašalnem kanalu približno 50 kp/m^2 , torej vrednost, ki je bila že uvodoma izračunana.

Potem ko so dale preiskave z vodoravnim žlebom dobre rezultate, so opravili še nadaljnje preiskave, pri katerih so bili žlebovi dvignjeni z navzgorjim nagibom, tako da so prenašali blago navzgor. Da so to dosegli, so dolžine tlačnih komor v prenašalnem kanalu skrajšali, in sicer zato, da se gladina prenašanega blaga ni dotikala stropa žleba, ker se bi s tem prenašano blago zgostilo, kar bi onemogočilo delovanje (zamašenost). Diagrami sl. 14 do 17 tolmačijo nagibe žleba s 5, 10, 15 in 20 %.

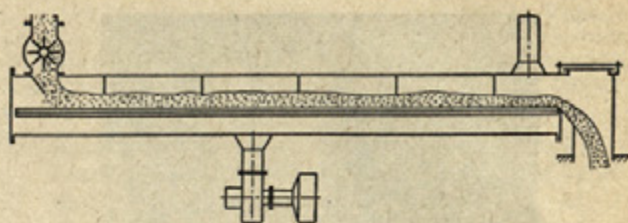
Iz teh diagramov je videti, da se razvija tlak po dolžini v prenašalnem žlebu in pri razmeroma majhnih nagibih približno linearno.

V diagramu na sl. 18 je nanesena specifična uporaba zraka $[m^3/h \cdot m^2]$ na površino porozne plošče v odvisnosti od nagiba žleba.

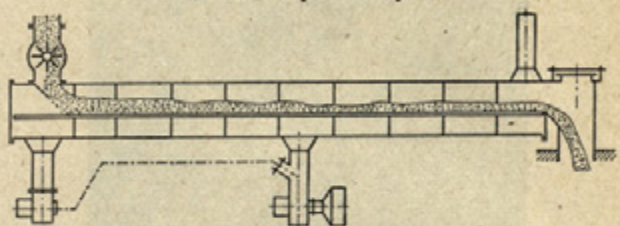
Enako je iz diagrama na sl. 18 razvidno linearno sorazmerje med porabo zraka in nagibom žleba. Koliko je to sorazmerje vzporedno pri žlebovih z večjim nagibom, bodo morale pokazati še nadaljnje preiskave.

3. Uporabljanje vodoravnih in navzgor prenašajočih pnevmatičnih žlebov

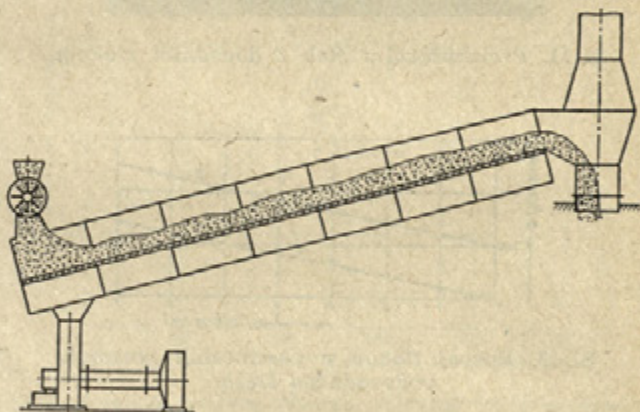
Čeprav imamo potemtakem na izbiro vodoravne in navzgor delujoče pnevmatične žlebove, ne smemo grešiti, da bi vse prenašalne probleme reševali z vodoravnimi žlebovi. Povsod, kjer se lahko okoriščamo s klasičnim žlebom, še pravi z žlebom z navzdolnjim nagibom, uporabljamo takega. V vseh primerih, v katerih za to rešitev ni možnosti, se uporabljajo vodoravni in navzgor dvignjeni prenašajoči pnevmatični žlebovi. Prednost imajo ti žlebovi vselej, kadar gre za blago, ki se daje v žleb samo na enem mestu in prav tako odvzema iz njega le na enem mestu, torej v žlebu z enim dotokom in enim iztokom. Samo ob sebi je razumljivo, da je možno graditi horizontalne žlebove z več dotoki in iztoki. Pri tem pa je neogibno potrebno, da se žleb opremlja s pripravami, ki še jamčijo za ekonomično delovanje. Kratke žlebe lahko gradimo, kakor je razvidno s slike 19, kjer se kanal za tlačni



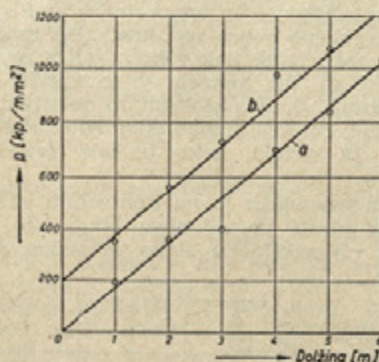
Sl. 19. Horizontalen pnevmatični žleb. Tlačni zračni kanal ni porazdeljen



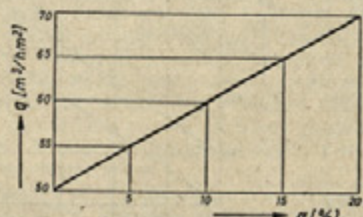
Sl. 20. Horizontalen pnevmatični žleb z dvodelnim dovajanjem zraka



Sl. 21. Navzgor nagnjen transportni pnevmatični žleb



Sl. 17. Žleb z 20 % nagibom



Sl. 18. Specifična poraba zraka $q [m^3/h \cdot m^2]$ v odvisnosti od nagiba [%]

zrak (pod porozno ploščo) ne porazdeljuje v tlačne komore. V smeri iztoka žleba se razlika tlaka v prenašalnem kanalu in spodnjem tlačnem kanalu veča, kar povzroča, da prehaja skozi porozne plošče več zraka, kakor bi bilo za transport blaga neogibno potrebno.

Pri dolgem žlebu je zato smotno, da se tlačni zračni kanal porazdeli tako, kakor je bilo povedano pri preizkuševalnem žlebu. Lahko pa se dovaja v žleb tlačni zrak v dveh ali treh stopnjah (slika 20), in sicer zato, da za tem ni treba zraku zniževati tlaka.

Enaka načela veljajo pri navzgor nagnjenem prenašalnemu žlebu, toda vsekakor tako, da je ta dolžina tlačne komore prenašalnega kanala izvedena krajše ali daljše, kar je odvisno od nagiba žleba. (Slika 21.)

Omeniti je potrebno še, da je možno vgrajevati zaporne organe neposredno v ločilne pločevinaste stene tlačnih komor tlačnega kanala, in sicer za vodoravni kakor tudi za navzgor nagnjeni sistem. Vodenje zraka je po tem načinu enostavnejše, kakor je obrazloženo pri preiskovalnem žlebu.

Literatura:

1. Fachkunde für Kalk- und Zementwerke, Bd. III. Pneumatische Förderrinne.
2. Fördern und Heben, 1952/6 — Ing. Dieter Braun, München. Zementförderung mit pneumatischen Rinnen.

Avtorjev naslov: ing. Nedeljko Perić, Zavod za raziskavo metalnih konstrukcij, Ljubljana, Dimičeva 12