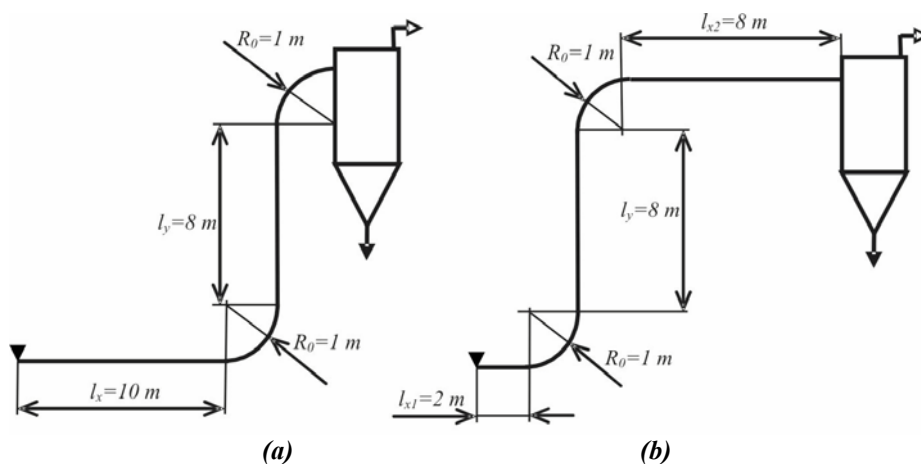


PRILOG

PRORAČUN BRZINA I PADA PRITISKA U DEONICAMA LETEĆEĆ PNEUMATIČKOG TRANSPORTA

Odrediti promenu brzine transportovanog materijala (pšenice) i pad pritiska transportnog vazduha za dve varijante trase cevovoda (date na slici 1p) i dve varijante brzine transportnog vazduha, od kojih je jedna, prema preporukama iz literature, $c=24$ m/s.

Proračun se vrši za cevovode unutrašnjeg prečnika $D=125$ mm. Transportovani materijal je pšenica, gustine zrna $\rho_m=1350$ m³/s, brzine lebdenja $c_0=9,5$ m/s, koeficijenta trenja u vertikalnim cevima $\lambda_{m,y}=0,002$ i koeficijenta trenja o zidove kolena $f=0,36$. Traženi maseni protok transportovane pšenice je $\dot{m}_m = 2$ kg/s (7200 kg/h). Atmosferska gustina vazduha u normalnim uslovima je $\rho_v=1,2$ m³/s.



Slika. 1p

VARIJANTA I - za trasu cevovda prikazanu na sl.1p.a**Podvarijanta I.1 - za brzinu transportnog vazduha $c=24$ m/s.**

Protok transportnog vazduha je

$$\dot{V}_v = c \frac{D^2 \pi}{4} = 24 \frac{0,125^2 \pi}{4} = 0,295 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\cong 1060 \text{ m}^3/\text{h}),$$

$$\dot{m}_v = \rho_v \dot{V}_v = 1,2 \cdot 0,295 = 0,354 \text{ kg/s},$$

pa je specifični protok materijala:

$$\mu = \frac{\dot{m}_m}{\dot{m}_v} = \frac{2}{0,354} = 5,65.$$

Frudovi brojevi za brzinu vazduha u cevovodu i brzinu lebdenja su:

$$F_r = \frac{c}{\sqrt{gD}} = \frac{24}{\sqrt{9,81 \cdot 0,125}} = 21,7, \quad F_{r0} = \frac{c_0}{\sqrt{gD}} = \frac{9,5}{\sqrt{9,81 \cdot 0,125}} = 8,58.$$

Najveća moguća brzina transportovanog materijala, u horizontalnom cevovodu, računa se korišćenjem formule (5.10'), koji se, zanemarivanjem člana $\rho_v/\rho_m = 1,2/1350 = 0,0009$, svodi na:

$$\beta_{k,x} \left(= \frac{v}{c} \right) = \frac{1}{1 + F_{r0} \sqrt{\lambda_{m,x}/2}} = \frac{1}{1 + 8,58 \sqrt{\lambda_{m,x}/2}}. \quad (1p)$$

Za poznatu veličinu koeficijenta trenja transportovanog materijala u vertikalnom cevovodu (za pšenicu je $\lambda_{m,y} = 0,002$), koeficijent trenja transportovanog materijala u horizontalnom cevovodu može se izračunati korišćenjem jednačine (8.7):

$$\lambda_{m,x} = \lambda_{m,y} + \frac{2e}{F_r^2 \beta_{k,x}^2} = 0,002 + \frac{2 \cdot 0,36}{21,7^2 \cdot \beta_{k,x}^2} = 0,002 + \frac{0,00153}{\beta_{k,x}^2}, \quad (2p)$$

gde je, za pšenicu, $e=f=0,36$ (podaci za koeficijente trenja f dati su u odeljku 5.4).

Zamenjujući (2p) u (1p), posle sređivanja, dobija se kvadratna jednačina po $\beta_{k,x}$:

$$\beta_{k,x}^2 - 2,159 \cdot \beta_{k,x} + 1,019 = 0$$

čije je fizički realno rešenje ($c > v \Rightarrow \beta_{k,x} < 1$) $\beta_{k,x} = 0,697$, pa je najveća moguća brzina pšeničnih zrna u horizontalnoj deonici cevovoda

$$v_{k,x} = \beta_{k,x} \cdot c = 0,67 \cdot 24 = 16,7 \text{ m/s}.$$

Prema formuli (2p), za $\beta_{k,x} = 0,697$ dobija se $\lambda_{m,x} = 0,0052$.

Veza pređenog puta (x) i bezdimenzijski svedene brzine transportovanog materijala ($\beta = v/c$), u horizontalnom cevovodu, opisuje se jednačinom (5.4), koja, uz zanemarivanje člana ρ_v / ρ_m glasi:

$$x = \frac{c_0^2}{2g} \left[A_x \ln \frac{\beta_{k,x}}{\beta_{k,x} - \beta} - B_x \ln(1 + a_x \beta) \right], \quad \text{za } \beta_{k,x} \neq 0,5,$$

$$\text{gde su: } A_x = \frac{\beta_{k,x}^2}{1 - \beta_{k,x}}, \quad B_x = \frac{\beta_{k,x}^2}{(1 - 2\beta_{k,x})(1 - \beta_{k,x})}, \quad a_x = \frac{1 - 2\beta_{k,x}}{\beta_{k,x}}$$

Za $c_0 = 9,5 \text{ m/s}$ i $\beta_{k,x} = 0,697$ ($A_x = 1,6$, $B_x = -4,067$, $a_x = -0,564$), napred data jednačina svodi se na oblik:

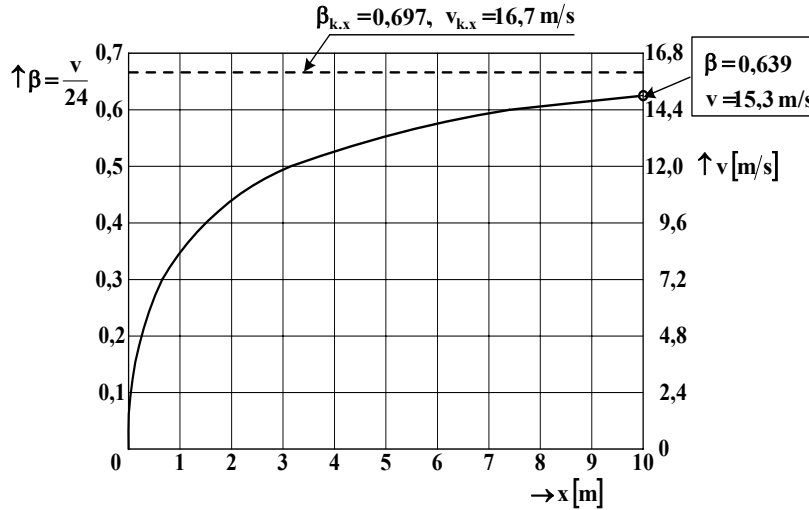
$$x = 7,36 \cdot \ln \frac{0,697}{0,697 - \beta} + 18,7 \cdot \ln(1 - 0,564 \cdot \beta) \quad (3p)$$

Za različite vrednosti β ($0 \leq \beta < 0,697$), prema jednačini (3p), izračunate veličine x (za $x \leq 10$, prema dužini horizontalnog cevovoda) date su u tabeli 1p, a, prema podacima iz ove tabele, na sl.2p nacrtani su grafici funkcija $\beta(x)$ i $v(x)$ ($v(x) = 24\beta(x)$).

TABELA 1p : $x(\beta)$ za horizontalnu deonicu cevovoda

$\beta = v/24$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6	0,62	0,639
$x [m]$	0	0,053	0,25	0,67	1,5	3,1	4,51	6,8	8,19	≈ 10

Na kraju horizontalne deonice cevovoda dobija se da je $\beta = 0,639$, odnosno brzina na izlazu iz ove deonice je $v = 0,639 \cdot 24 = 15,3 \text{ m/s}$.



Sl.2p Grafici funkcija $\beta(x)$ i $v(x)$ za horizontalnu deonicu cevovoda (za $c=24\text{ m/s}$)

Iza razmatrane horizontalne deonice cevovoda je koleno H-Vg, poluprečnika krivine $R_0=1\text{ m}$. Na izlazu iz kolena ($\varphi=\pi/2$) brzina kretanja čestica materijala ($v=v_2$) izračunava se korišćenjem formule (5.38):

$$v_2 = \frac{1}{e^{\frac{\pi}{2}f}} \sqrt{v_1^2 - \frac{2gR_s}{4f^2 + 1} \left[(1 + 3fe^{f\pi}) - 2f^2 \right]}$$

Za brzinu kretanja čestica na ulazu u koleno $v_1=15,3\text{ m/s}$, i za uslove zadatka $f=0,36$, $R_0=1\text{ m}$ ($R_s=R_0=D/2=1,0625\text{ m}$), dobija se da je brzina na izlazu iz ovog kolena $v_2 = 7,6\text{ m/s}$.

Iza kolena H-Vg je vertikalna deonica cevovoda. Najveća moguća brzina transportovanog materijala u vertikalnom cevovodu proračunava se korišćenjem jednačine (5.17'), koja se, zanemarujući član $\rho_v / \rho_m (= 0,0009)$, svodi na:

$$\beta_{k,y} = \frac{v_{k,y}}{c} = \frac{1 - \sqrt{1 - \left(1 - \frac{\lambda_{m,y}}{2} F_{r0}^2\right) \left(1 - \frac{c_0^2}{c^2}\right)}}{1 - \frac{\lambda_{m,y}}{2} F_{r0}^2}, \quad \text{za } c > c_0$$

Za $F_{r0}=8,58$, $\lambda_{m,y}=0,002$ (za pšenicu) i $c_0/c=9,5/24=0,396$, korišćenjem predhodne jednačine, dobija se:

$$\beta_{k,y} = 0,575 \quad , \quad v_{k,y} = \beta_{k,y} \cdot c = 0,575 \cdot 24 = 13,8\text{ m/s} .$$

Označavajući sa x' dužinske koordinate vertikalne deonice cevovoda iza kolena H-Vg ($x' \in [0,8]$), može se, prema sl.31 (odjeljak 5.2), pisati:

$$x' = x - x_0,$$

gde je x dužinska koordinata koja figuriše u jednačini (5.19),

$$x = \frac{c_0^2}{2g} \left[A_y \ln \frac{\beta_{k,y}}{\beta_{k,y} - \beta} - B_y \ln(1 + a_y \beta) \right], \quad \text{za} \quad \beta_{k,y} \neq \frac{1}{2} \left(1 - \frac{c_0^2}{c^2} \right)$$

$$\text{gde su: } A_y = \frac{\beta_{k,y}^2}{\left(1 - \frac{c_0^2}{c^2} \right) - \beta_{k,y}}; \quad B_y = \frac{\beta_{k,y}^2 \left(1 - \frac{c_0^2}{c^2} \right)}{\left[\left(1 - \frac{c_0^2}{c^2} \right) - 2\beta_{k,y} \right] \left[\left(1 - \frac{c_0^2}{c^2} \right) - \beta_{k,y} \right]},$$

$$\frac{\left(1 - \frac{c_0^2}{c^2} \right) - 2\beta_{k,y}}{\beta_{k,y} \left(1 - \frac{c_0^2}{c^2} \right)};$$

a x_0 je veličina koordinate x kojoj prema napred datoj jednačini odgovara brzina $v=v_0=7,6$ m/s (brzina na ulazu u vertikalni cevovod, koji se nalazi iza kolena H-Vg).

Za $c_0=9,5$ m/s, $c=24$ m/s, $\beta_{k,y}=0,575$ napred data jednačina ($A_x=1,23$, $B_y=3,387$, $a_y=-0,631$) svodi se na:

$$x = 5,66 \cdot \ln \frac{0,575}{0,575 - \beta} + 15,6 \cdot \ln(1 - 0,631 \cdot \beta), \quad (\beta = v/c = v/24),$$

prema kojoj je $x_0 = 1,05$ ($x=x_0$, za $v=v_0=7,6$ m/s, tj. $\beta=7,6/24=0,317$), pa se, s obzirom da je $x' = x - x_0$, može pisati:

$$x' = 5,66 \cdot \ln \frac{0,575}{0,575 - \beta} + 15,6 \cdot \ln(1 - 0,631 \cdot \beta) - 1,05. \quad (4p)$$

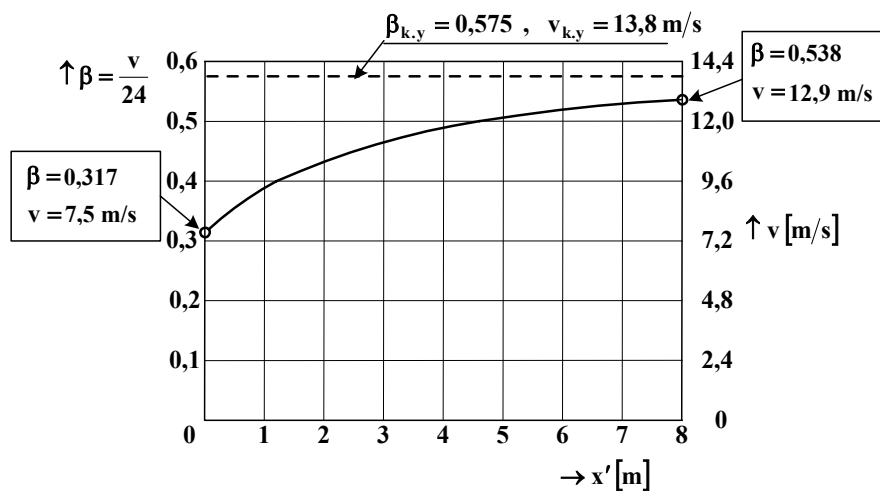
Jednačina (4p) daje funkcionalnu vezu dužinske koordinate vertikalne deonice cevovoda iza kolena H-Vg ($x' \in [0,8]$) i bezdimenzijski svedene brzine kretanja transportovane pšenice ($\beta=v/c=v/24$).

Za različite vrednosti β ($0,317 \leq \beta < 0,575$), prema jednačini (4p), izračunate veličine x' (za $x' \leq 8$) date su u tabeli 2p, a prema podacima iz ove tabele, na sl.3p nacrtani su grafici funkcija $\beta(x)$ i $v(x)$ ($v=24 \cdot \beta$).

TABELA 2p : $x'(\beta)$ za vertikalnu deonicu cevovoda

$\beta=v/24$	0,317	0,4	0,45	0,5	0,53	0,538
$x' [m]$	0	1,14	2,38	4,58	7,05	≈ 8

Na kraju vertikalne deonice cevovoda ($x'=8m$) je $\beta=0,538$, odnosno $v=0,538 \cdot 24=12,9$ m/s.



Sl.3p Grafici funkcija $\beta(x')$ i $v(x')$ za vertikalnu deonicu cevovoda (za $c=24m/s$)

U kolenu Vg–H, koja se nalazi iza vertikalne deonice cevovoda, pšenična zrna ulaze srednjom brzinom $v_1=12,9$ m/s, a njihova srednja brzina na izlazu iz kolena (v_2) računa se korišćenjem jednačine (5.49)

$$v_2 = \frac{1}{e^{\pi f/2}} \sqrt{v_1^2 + \frac{2gR_s}{4f^2 + 1} [3f + e^{\pi f} (2f^2 - 1)]},$$

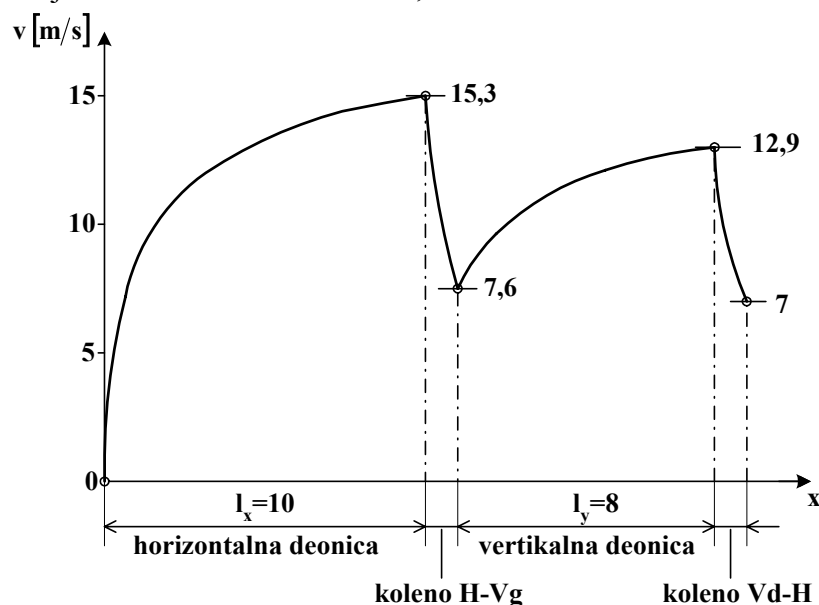
Za $v_1=12,9$ m/s, $c_0=9,5$ m/s, $R_0=1$ m ($R_s=1,0625$ m) i $f=0,36$ dobija se da je brzina transportovanog materijala na izlazu iz kolena $v_2 = 7$ m/s.

Predhodna jednačina, prema kojoj je izračunata brzina v_2 , važi za $v_2 > 3,23$ m/s ($v_2 > v_2^*$, gde je $v_2^* = \sqrt{gR_s} = \sqrt{9,81 \cdot 1,0625} = 3,23$ m/s).

Iza kolena Vg–H je odvajač, tj. taložnik transportovanog materijala.

Na sl.4p dat je grafik promene srednje brzine pšeničnih zrna duž transportnog cevovoda.

Kritična mesta, s obzirom na mogućnost začepjenja transportnog cevovoda, predstavljaju kolena H–Vg i Vd–H. Da u ovim kolenima ne bi došlo do začepjivanja, prema preporukama iz literature, proračunom dobijena srednja brzina pšeničnih zrna, na izlazu iz ovih kolena, ne bi trebalo da je ispod 7m/s ($v \geq 7$ m/s). Jedno ovakvo koleno (H–Vg) postoji i u razmatranoj instalaciji, s tim da je navedeni uslov u njemu zadovoljen ($v_2=7,5$ m/s). Koleno Vg–H, koje postoji u razmatranoj instalaciji, ne predstavlja opasnost za začepjivanje cevovoda, jer pri manjim brzinama pšeničnih zrna dolazi do njihovog rasejavanja po protočnom preseku i mehanizam njihovog transporta postaje sličan kao kod vertikalnih, odnosno horizontalnih cevovoda.



Sl.4p Promena srednje srednje brzine pšeničnih zrna duž cevovoda

Zbog relativno male dužine cevovoda, proračun pada pritiska transportnog vazduha vrši se po formulama za niskopritisni leteći pneumatički transport (uz pretpostavku da se vazduh ponaša kao nestišljiv fluid ($\rho_v=1,2$ kg/m³ = const)).

Hrapavost novih čeličnih cevi kreće se u granicama $\delta=0,05\div 0,2\text{mm}$, pa se prema formuli Šifrinsona

$$\lambda_v = 0,11(\delta/D)^{0,25}$$

dobija (za $D=125\text{mm}$) $\lambda_v=0,016\div 0,022$. U daljem proračunu usvojeno je $\lambda_v=0,020$.

Pad pritiska u horizontalnoj deonici cevovoda, računa se kao zbir pada pritiska zbog trenja transportnog vazduha ($\Delta p'_{(v)}$), pada pritiska zbog trenja transportovanog materijala ($\Delta p'_{(m)}$) i pada pritiska zbog ubrzavanja transportovanog materijala ($\Delta p''$):

$$\Delta p_x = \Delta p'_{(v)} + \Delta p'_{(m)} + \Delta p''$$

gde su, prema formulama datim u odeljku 6.1:

$$\Delta p'_{(v)} = \rho_v \lambda_v \frac{\ell_x}{D} \frac{c^2}{2} = 1,2 \cdot 0,02 \frac{10}{0,125} \frac{24^2}{2} = 553 \text{ Pa},$$

$$\begin{aligned} \Delta p'_{(m)} &= \rho_v \lambda_{m,x} \mu \beta_{k,x} \frac{\ell_x}{D} \frac{c^2}{2} \left(\frac{1}{v_{k,x} \ell_x} \int_0^{\ell_x} v(x) dx \right) = \\ &= 1,2 \cdot 0,0052 \cdot 5,65 \cdot 0,697 \frac{10}{0,125} \frac{24^2}{2} \left(\frac{1}{16,7 \cdot 10} \int_0^{10} v(x) dx \right) = \\ &= 566,2 \left(\frac{1}{167} \int_0^{10} v(x) dx \right), \end{aligned}$$

$$\Delta p'' = \rho_v \mu c (v_{2,x} - v_{1,x}) = 1,2 \cdot 5,65 \cdot 24 \cdot (15,3 - 0) = 2490 \text{ Pa}.$$

Koristeći grafik funkcije $v(x)$ (sl.2p) i trapezno pravilo približne integracije, dobija se:

$$\begin{aligned} \int_0^{10} v(x) dx &= h \left[\frac{f(x_0)}{2} + f(x_1) + \dots + f(x_{n-1}) + \frac{f(x_n)}{2} \right] = \\ &= 1 \left[\frac{0}{2} + 8,4 + 10,6 + 12 + 12,8 + 13,5 + 13,8 + 14,2 + 14,7 + 14,9 + \frac{15,3}{2} \right] \end{aligned}$$

$$\int_0^{10} v(x) dx = 124,8 \text{ m}^2/\text{s},$$

pa je

$$\Delta p'_m = 566,2 \frac{124,8}{167} = 566,2 \cdot 0,747 = 423 \text{ Pa}.$$

Pad pritiska u horizontalnoj deonici iznosi:

$$\Delta p_x = 553 + 415,4 + 2489,6 = 3466 \text{ Pa}.$$

Pad pritiska u vertikalnoj deonici cevovoda računa se kao zbir pada pritiska zbog trenja transportnog vazduha ($\Delta p'_{(v)}$), pada pritiska zbog trenja transportovanog materijala ($\Delta p'_{(m)}$), pada pritiska zbog dizanja transportnog vazduha i transportovanog materijala ($\Delta p''$) i pada pritiska zbog ubrzavanja transportovanog materijala ($\Delta p'''$):

$$\Delta p_y = \Delta p'_{(v)} + \Delta p'_{(m)} + \Delta p'' + \Delta p''',$$

gde su, prema formulama datim u odeljku 6.1:

$$\Delta p'_{(v)} = \rho_v \lambda_v \frac{\ell_y}{D} \frac{c^2}{2} = 1,2 \cdot 0,02 \frac{8}{0,125} \frac{24^2}{2} = 442,4 \text{ Pa},$$

$$\begin{aligned} \Delta p'_{(m)} &= \rho_v \lambda_{m,y} \mu \beta_{k,y} \frac{\ell_y}{D} \frac{c^2}{2} \left(\frac{1}{v_{k,y} \ell_y} \int_0^{\ell_y} v(x) dx \right) = \\ &= 1,2 \cdot 0,002 \cdot 5,65 \cdot 0,575 \frac{8}{0,125} \frac{24^2}{2} \left(\frac{1}{13,8 \cdot 8} \int_0^{10} v(x) dx \right) = \\ &= 143,7 \left(\frac{1}{110,4} \int_0^8 v(x) dx \right), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta p'' &= \rho_v g l_y + \rho_v g \mu c \int_0^{\ell_y} \frac{1}{v(x)} dx = \\ &= 1,2 \cdot 9,81 \cdot 8 + 1,2 \cdot 9,81 \cdot 5,65 \cdot 24 \int_0^{\ell_y} \frac{1}{v(x)} dx = \\ &= 94,2 + 1596,3 \int_0^{\ell_y} \frac{1}{v(x)} dx \end{aligned}$$

$$\Delta p''' = \rho_v \mu c (v_{2,y} - v_{1,y}) = 1,2 \cdot 5,65 \cdot 24 \cdot (12,9 - 7,6) = 862,4 \text{ Pa}.$$

Koristeći grafik funkcije $v(x)$ (sl.3p) i trapezno pravilo približne integracije, dobija se:

$$\int_0^8 v(x) dx = 90,6 \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{i} \quad \int_0^8 \frac{dx}{v(x)} = 0,72 \text{ s},$$

pa je

$$\Delta p'_{(m)} = 143,7 \frac{90}{110,4} = 143,7 \cdot 0,82 = 117,9 \text{ Pa},$$

$$\Delta p'' = 94,2 + 1596,3 \cdot 0,72 = 94,2 + 1149,3 = 1243,5 \text{ Pa}.$$

Dakle, pad pritiska u verikalnoj donici iznosi:

$$\Delta p_y = 442,4 + 117,1 + 1243,5 + 862,4 = 2666,2 \text{ Pa}.$$

Pad pritiska u (jednom) kolenu računa se korišćenjem formule

$$\Delta p_k = \rho_v \xi_k \frac{c^2}{2},$$

gde je, za $R_o/d=1/0,13=7,7$, $\xi_k=0,38$ (v.sl.54), pa je:

$$\Delta p_k = 1,2 \cdot 0,38 \frac{24^2}{2} = 131,3 \text{ Pa}.$$

Pad pritiska u odvajaju transportovanog materijala računa se korišćenjem formule:

$$\Delta p_{odv.} = \rho_v \xi_{odv.} \frac{c_{odv.}^2}{2},$$

gde je $c_{odv.}$ – brzina vazduha na ulazu u odvajaj ($c_{odv.}=c=24\text{m/s}$), a $\xi_{odv.}$ – koeficijent koji zavisi od konstrukcije odvajaja i kreće se u granicama $\xi_{odv.}=2\div 5$, pri čemu niže vrednosti odgovaraju taložnim komorama, a više ciklonima.

Kako se radi o transportu pšenice, kao odvajaj se koristi taložna komora ($\xi_{odv.}=2\div 3$). Usvajajući $\xi_{odv.}=3$, dobija se:

$$\Delta p_{odv.} = 1,2 \cdot 3 \frac{24^2}{2} = 1036,8 \text{ Pa}.$$

Ukupan pad pritiska vazduha u transportnom cevovodu i odvajaču je:

$$\Delta p = \Delta p_x + \Delta p_y + 2\Delta p_k + \Delta p_{odv} = 3458 + 2665,4 + 2 \cdot 131,3 + 1036,8$$
$$\underline{\Delta p = 7431,6 \text{ Pa}}$$

Prema proračunatom padu pritiska ($\Delta p = 7431,6 \text{ Pa}$) transport je niskopritisak i jednostavnije ga je izvesti po principu usisnog pneumatičkog transporta. Centrifugalni ventilator, koji stvara potpritisak u instalaciji, bira se tako da pri protoku vazduha $\dot{V}_v = 0,295 \text{ m}^3/\text{s}$ ($=1060 \text{ m}^3/\text{h}$) razvija statički pritisak ventilatora od $7431,6 \text{ Pa}$.

Napomena:

Zbog relativno male dužine cevovoda, u ukupnom padu pritiska u pravim cevima ($\Delta p_c = \Delta p_x + \Delta p_y = 6132,2 \text{ Pa}$), pad pritiska zbog ubrzavanja transportovanog materijala ($\Sigma \Delta p''' = 3352,4 \text{ Pa}$) učestvuje sa oko 55%, a pad pritiska zbog podizanja vazduha i transportovanog materijala sa 20%, što je zbirno oko 75% od ukupnog pada pritiska u cevovodu.

Podvarijanta I.2 - za brzinu transportnog vazduha $c=20$ m/s

$$\dot{V}_v = c \frac{D^2 \pi}{4} = 20 \frac{0,125^2 \pi}{4} = 0,245 \text{ m}^3/\text{s} \quad (= 882 \text{ m}^3/\text{h}),$$

$$\dot{m}_v = \rho_v \dot{V}_v = 1,2 \cdot 0,245 = 0,294 \text{ kg/s},$$

$$\mu = \frac{\dot{m}_m}{\dot{m}_v} = \frac{2}{0,294} = 6,80,$$

$$F_r = \frac{c}{\sqrt{gD}} = \frac{20}{\sqrt{9,81 \cdot 0,125}} = 18,1,$$

$$F_{r0} = \frac{c_0}{\sqrt{gD}} = \frac{9,5}{\sqrt{9,81 \cdot 0,125}} = 8,58.$$

Koeficijent trenja transportovanog materijala u horizontalnoj deonici cevovoda:

$$\lambda_{m,x} = \lambda_{m,y} + \frac{2e}{F_r^2 \beta_{k,x}^2} = 0,002 + \frac{2 \cdot 0,36}{18,1^2 \cdot \beta_{k,x}^2} = 0,002 + \frac{0,0022}{\beta_{k,x}^2}, \quad (5p)$$

$$(5p) \wedge (1p) \Rightarrow \beta_{k,x}^2 - 2,159 \beta_{k,x} + 0,992 = 0 \Rightarrow \beta_{k,x} = 0,663,$$

$$v_{k,x} = \beta_{k,x} \cdot c = 0,663 \cdot 20 = 13,3 \text{ m/s},$$

$$\lambda_{m,x} = 0,007.$$

Jednačina (5.14), za $c_0=9,5$ m/s i $\beta_{k,x}=0,663$:

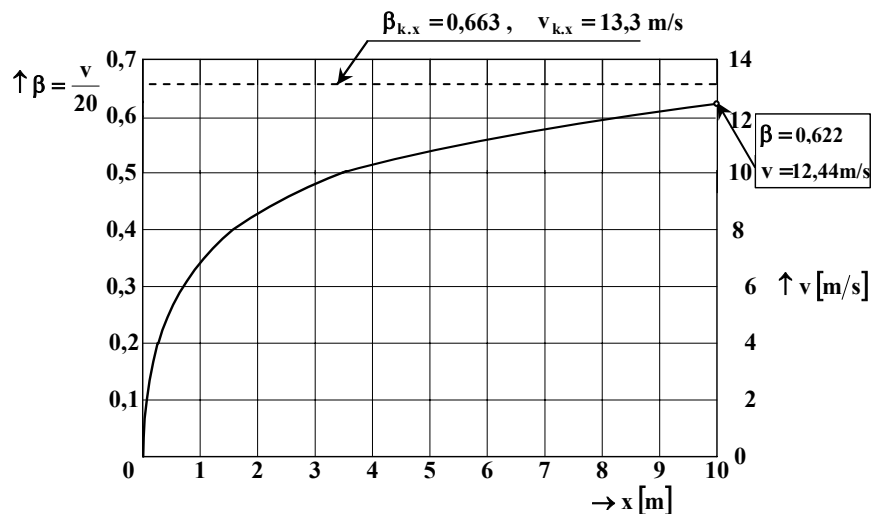
$$x = 5,98 \ln \frac{0,663}{0,663 - \beta} + 18,4 \ln(1 - 0,49 \cdot \beta) \quad (6p)$$

TABELA 3p: $x(\beta)$ za horizontalnu deonicu cevovoda

$\beta=v/20$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6	0,622
$x [m]$	0	0,053	0,25	0,68	1,52	3,225	4,81	7,69	≈ 10

Na kraju horizontalne deonice cevovoda ($x=10$) je $\beta=0,622$,
 $v=0,622 \cdot 20=12,44$ m/s.

Prema podacima iz tabele 3p, na sl.5p nacrtani su grafici funkcija $\beta(x)$ i $v(x)$ ($v=20 \cdot \beta$).



Sl.5p Grafici funkcija $\beta(x)$ i $v(x)$ za horizontalnu deonicu cevovoda (za $c=20$ m/s)

Promena brzine pšeničnih zrna u kolenu H–Vg:

- srednja brzina na ulazu u koleno: $v_1=12,44$ m/s;
- srednja brzina na izlazu iz kolena, (5.38) $\Rightarrow v_2=5,64$ m/s .

Proračunom dobijena srednja brzina pšeničnih zrna na izlazu iz kolena H–Vg manja je od 7 m/s , pa će prema podacima iz stručne literature [15], u ovom kolenu dolaziti do delimičnog taloženja pšenice, pa je ovo kritično mesto s obzirom na mogućnost začepijavanja cevovoda.

Promena brzine pšeničnih zrna u vertikalnoj deonici cevovoda:

- srednja brzina na ulazu: $v_0=5,64$ m/s ($\beta_0=v_0/c=5,64/20=0,282$), za $F_{r0}=8,58$, $c_0/c=9,5/20=0,475 \Rightarrow \beta_{k,y}=0,51$,

$$v_{k,y} = \beta_{k,y} \cdot c = 0,51 \cdot 20 = 10,2 \text{ m/s} .$$

Jednačina (5.19), za $\beta=\beta_0=0,282 \Rightarrow x_0=0,9$

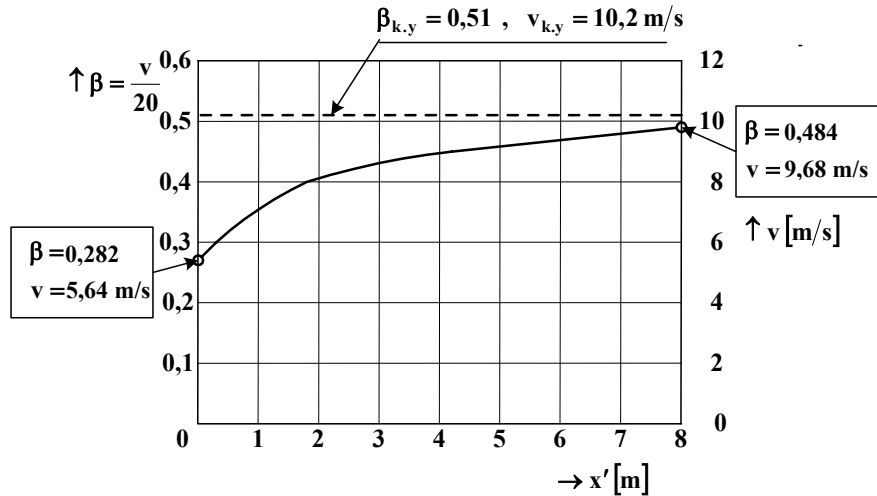
$$x' = 4,53 \ln \frac{0,51}{0,51 - \beta} + 14,26 \ln(1 - 0,623 \cdot \beta) - 0,896. \quad (7p)$$

TABELA 4p: $x'(\beta)$ za vertikalnu deonicu cevovoda

$\beta=v/20$	0,282	0,30	0,35	0,40	0,45	0,48	0,482	0,484
$x' [m]$	0	0,18	0,86	1,99	4,2	7,25	7,58	≈ 8

Na kraju vertikalne deonice cevovoda je $\beta=0,484$, odnosno, $v=0,484 \cdot 20=9,68$ m/s.

Prema podacima iz tabele 4p, na sl.6p nacrtani su grafici funkcija $\beta(x)$ i $v(x)$, ($v=20 \cdot \beta$).



Sl.6p Grafici funkcija $\beta(x)$ i $v(x)$ za vertikalnu deonicu cevovoda (za $c=20$ m/s)

Promena brzine pšeničnih zrna u kolenu Vg–H:

- srednja brzina na ulazu u koleno: $v_1=9,68$ m/s;
- srednja brzina na izlazu iz kolena, (5.49) $\Rightarrow v_2 = 5$ m/s.

Zanemarujući uticaj taloženja materijala u kolenu H–Vg, za $\lambda_v=0,02$; $\lambda_{m,x}=0,007$; $\lambda_{m,y}=0,002$; $\xi_k=0,38$; $\xi_{odv}=3$; $c=20$ m/s; $\mu=6,80$; $\beta_{k,x}=0,663$; $\beta_{k,y}=0,51$ i na osnovu rasporeda brzina $v(x)$ datim na slikama 5p i 6p, proračunom dobijeni padovi pritiska su:

- u horizontalnoj deonici cevovoda:

$$\Delta p_x = 2881,5 \text{ Pa}$$

$$(\Delta p'_{(v)} = 384 \text{ Pa}, \Delta p'_{(m)} = 468,6 \text{ Pa}, \Delta p''' = 2028,9 \text{ Pa})$$

- u vertikalnoj deonici cevovoda:

$$\Delta p_y = 2658,4 \text{ Pa}$$

$$(\Delta p'_{(v)} = 307,2 \text{ Pa}, \Delta p'_{(m)} = 88,7 \text{ Pa}, \Delta p'' = 1604,4 \text{ Pa}, \Delta p''' = 658,1 \text{ Pa})$$

- u kolenima je po $\Delta p_k = 91,2 \text{ Pa}$,
- u odvajaču (taložniku): $\Delta p_{odv} = 720 \text{ Pa}$.

Ukupan pad pritiska transportnog vazduha u cevovodu i odvajaču je:

$$\Delta p = \Delta p_x + \Delta p_y + 2\Delta p_k + \Delta p_{odv} = 2881,5 + 2658,4 + 2 \cdot 91,2 + 720$$

$$\underline{\Delta p = 6442,3 \text{ Pa}}$$

Rezultati proračuna pokazuju da smanjenje brzine transportnog vazduha (smanjenje protoka vazduha, odnosno povećanje specifičnog masenog protoka transportovanog materijala) vodi smanjenju proračunatog pada pritiska, ali i smanjenju srednje brzine transportovanog materijala na izlazu iz kolena H–Vg, što može da izazove delimično taloženje materijala u ovom kolenu i zakrčenje cevovoda (što je u razmatranom primeru i slučaj).

Taloženje materijala u kolenu H–Vg praćeno je povećanjem pada pritiska, odnosno povećanjem potpritiska na ulazu u ventilator opterećen na usisavanje (kod usisnog transporta). Ugradnjom kontaktnog vakuumetra, koji daje upravljački signal za prekid doziranja materijala, kada pad pritiska u transportnoj liniji prekorači određenu vrednost, začepijavanje cevovoda može se sprečiti, ali transport materijala više nije neprekidan, ili, bolje reći, nije sa konstantnim protokom (prekida se doziranje materijala sve dok pad pritiska ne opadne na nominalnu vrednost) i sumarni kapacitet transporta manji je od projektovanog.

Ako u kolenu H–Vg dolazi do delimičnog taloženja transportovanog materijala, radne karakteristike centrifugalnog ventilatora, koji izaziva strujanje vazduha, takve su, da ubrzavaju proces zakrčavanja cevovoda transportovanim materijalom. Naime, povećanje pritiska ventilatora, koje prati proces zakrčavanja cevovoda, praćeno je smanjenjem protoka vazduha – smanjenjem brzine vazduha, što sa svoje strane intezivira taloženje materijala.

Ukoliko protok materijala ne mora biti konstantan (kao na primer, kod punjenja silosa pšenicom) radi, eventualne, uštede u potrošnji energije, može se ići i na varijantu pneumatičkog transporta sa povremenim produvanjem cevovoda (sa povremenim prekidanjem doziranja materijala, da bi se sprečilo začepijavanje

cevovoda). Nezgodu u proračunu ovakvog transporta pretstavlja neophodna procena učešća vremena prodivavanja u ukupnom radnom vremenu, odnosno određivanje masenog protoka pri doziranju materijala, da bi se i pored prekida u doziranju, obezbedio sumarni kapacitet transporta.

Ako se sa ε [%] označi procentualno učešće vremena prodivavanja u ukupnom radnom vremenu, a sa \bar{m}_m – traženi srednji maseni protok materijala, maseni protok pri doziranju materijala računa se korišćenjem formule:

$$\dot{m}_m = \left(1 + \frac{\varepsilon [\%]}{100} \right) \bar{m}_m$$

i prema ovom protoku treba računati nominalni pad pritiska vazduha.

Pretpostavljajući da će prodivavanje cevovoda (bez doziranja transportovanog materijala) oduzeti 20% radnog vremena, maseni protok doziranja materijala, u razmatranom primeru, je $\dot{m}_m = 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ kg/s}$. Za $\dot{m}_m = 2,4 \text{ kg/s}$, ($\mu = 2,4/0,294 = 8,16$) proračunom dobijen pad pritiska u cevovodu i odvajaju je oko $\Delta p = 7400 \text{ Pa}$ što je približno isto kao i u varijanti I.1 (sa $c = 24 \text{ m/s}$, $\dot{V}_v = 0,295 \text{ m}^3/\text{s}$). Kako je u varijanti I.2 protok vazduha manji za 20%, za isti ovaj procenat manji je i utrošak snage.

Ako bi prodivavanje cevovoda oduzelo 50% radnog vremena, maseni protok doziranja materijala bio bi $\dot{m}_m = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ kg/s}$, a proračunom dobijen pad pritiska u cevovodu i odvajaju, u ovom slučaju, iznosi $\Delta p = 8820 \text{ Pa}$. Pad pritiska u ovoj varijanti je za oko 20% veći nego li u varijanti I.a, pa bi, s obzirom da je protok vazduha za 20% manji, utrošena snaga u obe varijante bila ista.

Greška u proceni vremena prodivavanja cevovoda dovodi do greške u proračunu pada pritiska i lošeg izbora ventilatora. Radne karakteristike ventilatora takve su, da, pogrešno izabran ventilator dovodi sistem pneumatičkog transporta u režim rada koji se bitno razlikuje od proračunskog. Varijanta transporta sa povremenim prodivavanjem cevovoda praktično se može primeniti u slučajevima kada mašine koje izazivaju strujanje vazduha imaju krutu radnu karakteristiku ($\dot{V}_v \approx \text{const}$), kao što su, na primer, vakuumpumpe i Rutsove duvaljke.

VARIJANTA II - za trasu cevovoda prikazanu na sl.1p.b**Podvarijanta II.1** - za brzinu transportnog vazduha $c=24\text{m/s}$

Protok vazduha i specifični maseni protok materijala isti je kao u podvarijanti I.1:

$$\dot{V}_v = 0,295 \text{ m}^3/\text{s}, \quad \dot{m}_v = 0,354 \text{ kg/s}, \quad \mu = 5,65.$$

Rezultati proračuna promene brzine pšeničnih zrna u prvoj horizontalnoj deonici cevovoda isti su kao i u podvarijanti I.1, s tim da je $0 \leq x \leq 2$. Prema grafiku funkcije $\beta(x)$, datom na sl.2p, za $x=2$ je $\beta=0,44$, pa je srednja brzina pšeničnih zrna na kraju ove deonice cevovoda $v=0,44 \cdot 24=10,6 \text{ m/s}$.

U koleno H-Vg pšenična zrna ulaze srednjom brzinom $v_1=10,6\text{m/s}$, a, prema formuli (5.38), proračunata njihova srednja brzina na izlazu iz ovog kolena je $v_2=4,4 \text{ m/s}$. Kako je ova brzina manja od 7 m/s , prema podacima iz literature [15], u ovom kolenu će dolaziti do delimičnog taloženja pšenice, pa je neophodno predvideti povremeno prekidanje doziranja materijala i produvanja cevovoda, kako bi se sprečilo začepljenje cevovoda.

U vertikalnu deonicu cevovoda pšenična zrna ulaze srednjom brzinom $v_0=4,2 \text{ m/s}$ ($\beta_0=4,2/24=0,175$), a njihova najveća moguća brzina u ovoj deonici cevovoda ista je kao i u podvarijanti I.1 ($v_{k,y}=13,8 \text{ m/s}$, $\beta_{k,y}=0,575$).

Funkcionalna veza pređenog puta (x') i bezdimenzijski svedene brzine pšeničnih zrna ($\beta=v/c=v/24$) u vertikalnoj deonici cevovoda opisuje se jednačinom

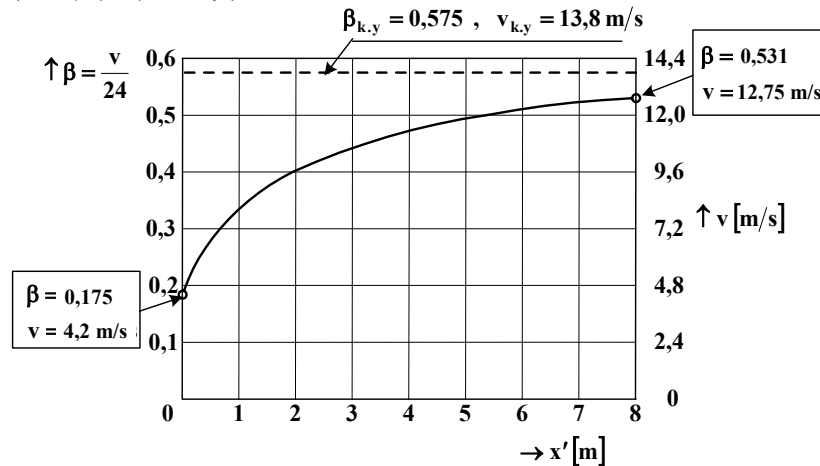
$$x' = 5,66 \cdot \ln \frac{0,575}{0,575 - \beta} + 15,6 \cdot \ln(1 - 0,631 \cdot \beta) - 0,232 \quad (8p)$$

TABELA 5p: $x'(\beta)$ za vertikalnu deonicu cevovoda

$\beta=v/24$	0,175	0,20	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,53	0,531
$x' [m]$	0	0,08	0,67	1,19	1,97	3,20	5,40	7,87	≈ 8

Na kraju vertikalne deonice cevovoda ($x' \approx 8$) je $\beta=0,531$, $v=0,531 \cdot 24=12,75 \text{ m/s}$.

Prema podacima iz tabele 5p, na sl.7p nacrtani su grafici funkcija $\beta(x')$ i $v(x')$ ($v=24\cdot\beta$).



Sl. 7p Grafici funkcija $\beta(x')$ i $v(x')$ za vertikalnu deonicu cevovoda (za $c=24\text{m/s}$)

U kolenu Vg–H, koje se nalazi iza vertikalne deonice cevovoda, pšenična zrna ulaze srednjom brzinom $v_l=12,75$ m/s, a, prema formuli (5.49), njihova proračunata srednja brzina na izlazu iz ovog kolena $v_2=6,9$ m/s .

U drugu horizontalnu deonicu cevovoda, koja se nalazi iza kolena Vg–H, pšenična zrna ulaze srednjom brzinom $v_0=6,9$ m/s ($\beta_0=6,9/24=0,288$), a, najveća moguća njihova srednja brzina u ovoj deonici cevovoda (prema sl.2p) je $v_{k,x}=16$ m/s , ($\beta_{k,x}=0,667$).

Označavajući sa x' dužinsku koordinatu horizontalne deonice cevovoda iza kolena Vg-H ($x'\in[0,8]$), može se, prema sl.28 (odjeljak 5.1), pisati:

$$x' = x - x_0,$$

gde je x dužinska koordinata koja figuriše u jednačini (3p), dok je $x=x_0$, za $\beta=\beta_0=0,288$ ($v=v_0=6,9$ m/s).

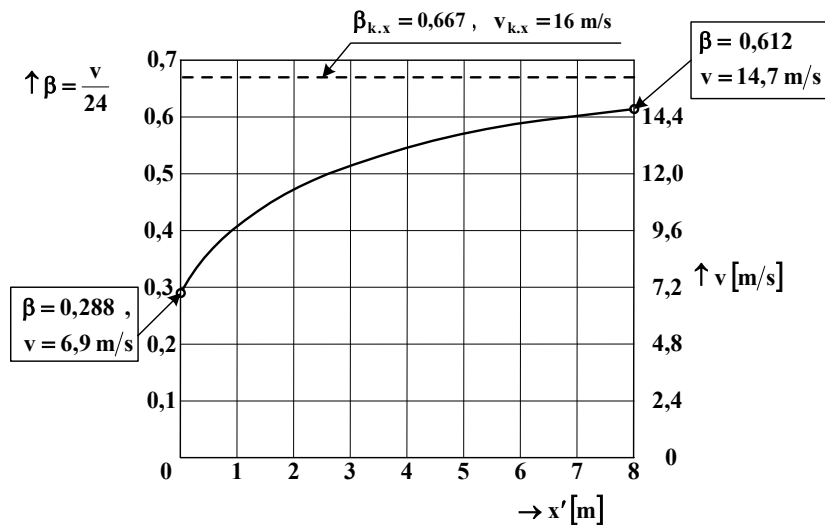
Prema jednačini (5.19 i 5.20), dobija se:

$$x = 6,136 \ln \frac{0,667}{0,667 - \beta} + 18,4 \ln(1 - 0,5 \cdot \beta) - 0,6 \quad (9p)$$

TABELA 6p : $x(\beta)$ za drugu horizontalnu deonicu cevovoda

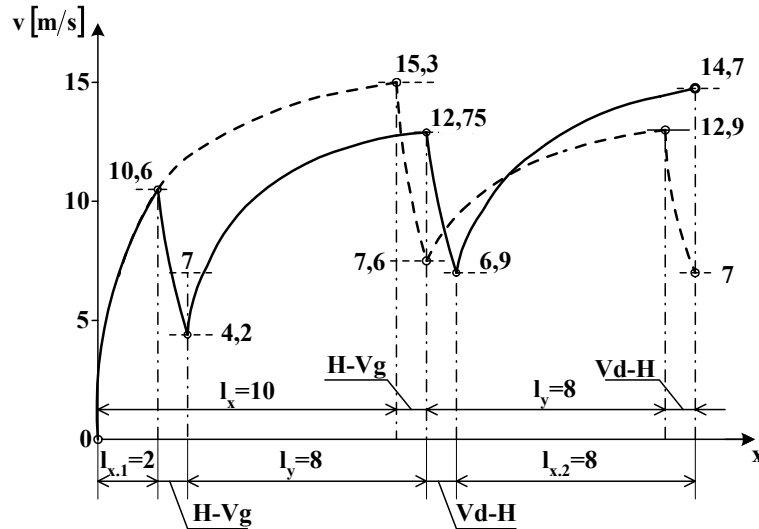
$\beta=v/24$	0,288	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,61	0,612
x [m]	0	0,43	0,92	1,61	2,61	4,18	6,96	7,83	≈8

Na kraju druge horizontalne deonice cevovoda ($x=8$) je $\beta=0,612$, $v=0,612 \cdot 24=14,7$ m/s. Prema podacima iz tabele 5p, na sl.7p nacrtani su grafici funkcija $\beta(x)$ i $v(x)$ ($v=24 \cdot \beta$).



Sl.8p Grafici funkcija $\beta(x)$ i $v(x)$ za drugu horizontalnu deonicu cevovoda (za $c=24$ m/s)

Na sl.9p dat je grafik promene brzine pšeničnih zrna duž transportnog cevovoda. Radi upoređenja, dat je grafik funkcije $v(x)$ iz varijante I.1, u kojoj se transport odvija sa istom brzinom vazduha $c=24$ m/s.



Sl.9p Promena srednje srednje brzine pšeničnih zrna duž cevovoda, u varijanti II.1 (puna linija) i u varijanti I.1 (isprekidana linija)

Koeficijent trenja pšenice u vertikalnom cevovodu je $\lambda_{m,y}=0,002$, a koeficijent trenja u horizontalnom cevovodu isti je kao i u varijanti I.1 ($\lambda_{m,x}=0,0052$).

Zanemarujući uticaj taloženja materijala u kolenu H–Vg, za $\lambda_v=0,02$, $\lambda_{m,x}=0,0052$, $\lambda_{m,y}=0,002$ i rasporede brzina $v(x)$ datim na sl.2p (za $x \leq 2$), sl.7p i sl.8p, proračunom dobijeni padovi pritiska su:

- u prvoj horizontalnoj deonici cevovoda:

$$\Delta p_{x,1} = 1902,9 \text{ Pa}$$

$$(\Delta p'_{(v)} = 110,6 \text{ Pa}, \Delta p'_{(m)} = 70,4 \text{ Pa}, \Delta p'' = 1721,9 \text{ Pa})$$

- u vertikalnoj deonici cevovoda:

$$\Delta p_y = 3303,8 \text{ Pa}$$

$$(\Delta p'_{(v)} = 442,4 \text{ Pa}, \Delta p'_{(m)} = 110,7 \text{ Pa}, \Delta p'' = 1362,3 \text{ Pa}, \Delta p''' = 1388,6 \text{ Pa})$$

- u drugoj horizontalnoj deonici cevovoda:

$$\Delta p_{x,2} = 2161,7 \text{ Pa}$$

$$(\Delta p'_{(v)} = 442,4 \text{ Pa}, \Delta p'_{(m)} = 442,5 \text{ Pa}, \Delta p'' = 1276,8 \text{ Pa})$$

Pad pritiska u kolenima (dva puta po $\Delta p_k=130 \text{ Pa}$) i odvajaču ($\Delta p_{odv}=1040 \text{ Pa}$) isti je kao u varijanti I.a, pa je ukupan pad pritiska u cevovodu i odvajaču:

$$\begin{aligned} \Delta p &= \Delta p_{x,1} + \Delta p_{x,2} + \Delta p_y + 2\Delta p_k + \Delta p_{odv} = \\ &= 1902,9 + 2161,7 + 3303,8 + 2 \cdot 131,3 + 1036,8 \end{aligned}$$

$$\underline{\Delta p = 8667,8 \text{ Pa} \quad (884 \text{ mmH}_2\text{O})}$$

Zbog taloženja pšenice u kolenu H–Vg pad pritiska u cevovodu raste, a da ne bi došlo do začepjivanja cevovoda neophodno je predvideti povremeno prođuvavanje cevovoda (kada se prekida doziranje transportovanog materijala).

U poređenju sa varijantom I.a, koja se odvija sa istim zapreminskim protokom vazduha, razmatrana varijanta (II.a) transporta je gora i to zbog:

- 1) većeg nominalnog pada pritiska (za oko 16%) i
- 2) taloženja transportovanog materijala u kolenu H–Vg.

Podvarijanta II.2 - za brzinu transportnog vazduha $c=34$ m/s, kada je srednja brzina pšeničnih zrna na izlazu iz kolena H–Vg veća od 7m/s i ne postoji opasnost od začepljivanja cevovoda

Povećanje protoka vazduha – sniženje specifičnog masenog protoka transportovana materijala, vodi povećanju pada pritiska, pa će pad pritiska u ovoj varijanti biti veći nego li u prethodnoj varijanti (I.2). I bez proračuna se može zaključiti da će ova varijanta biti manje ekonomična od varijante I.1, a proračun se daje samo zbog tačnog upoređivanja ove dve varijante.

Protok vazduha i specifični maseni protok materijala su:

$$\dot{V}_v = c \frac{D^2 \pi}{4} = 34 \frac{0,125^2 \pi}{4} = 0,417 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\cong 1501 \text{ m}^3/\text{h})$$

$$\dot{m}_v = \rho_v \dot{V}_v = 1,2 \cdot 0,417 = 0,5 \text{ kg/s}$$

$$\mu = \frac{\dot{m}_m}{\dot{m}_v} = \frac{2}{0,5} = 4$$

$$\text{Za } F_r = \frac{c}{\sqrt{gD}} = \frac{34}{\sqrt{9,81 \cdot 0,125}} = 30,7 \text{ je}$$

$$\lambda_{m,x} = 0,002 + \frac{0,00076}{\beta_{k,x}^2} \quad (10p)$$

Zamenjujući (10p) u (1p), za $F_{r0}=8,58$, posle sređivanja, dobija se kvadratna jednačina po $\beta_{k,x}$:

$$\beta_{k,x}^2 - 2,159\beta_{k,x} + 1,037 = 0,$$

čije je fizičko realno rešenje ($\beta_{k,x} < 1$) $\beta_{k,x}=0,722$, pa je najveća moguća srednja brzina pšeničnih zrna u horizontalnom cevovodu $v_{k,x} = \beta_{k,x} \cdot c = 0,722 \cdot 34 = 24,55$ m/s.

Prema jednačini (10p), za $\beta_{k,x}=0,722$, dobija se $\lambda_{m,x}=0,004$.

Veza između pređenog puta (x) u prvoj horizontalnoj deonici i bezdimenzijski svedene brzine pšeničnih zrna ($\beta = v/c = v/34$) opisuje se jednačinom (5.14), koja, za $F_{r0}=8,58$, $\beta_{k,x}=0,722$, i $\rho_v / \rho_m = 0,0009 \approx 0$, dobija oblik:

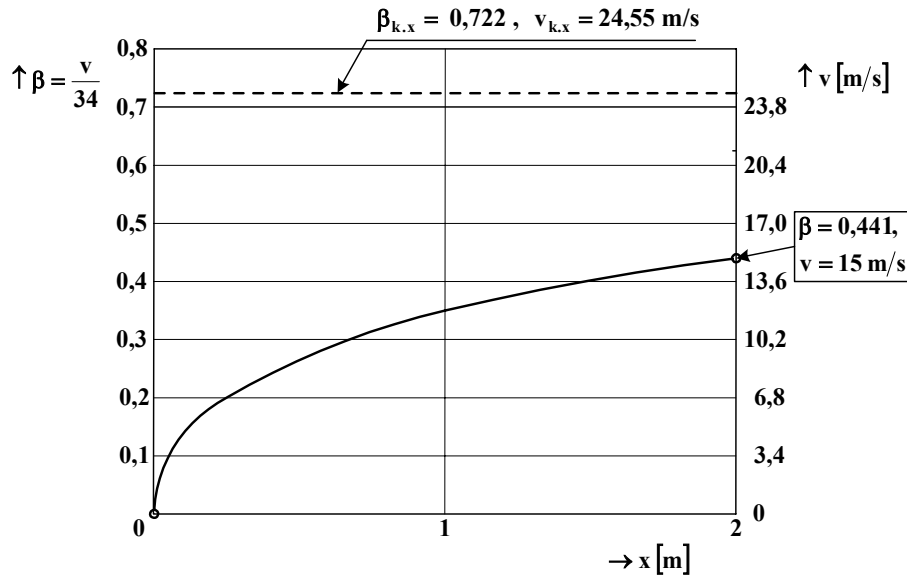
$$x = 8,616 \ln \frac{0,722}{0,722 - \beta} + 19,42 \ln(1 - 0,615 \cdot \beta) \quad (11p)$$

Tabela 7p: $x(\beta)$ za prvu horizontalnu deonicu cevovoda

$\beta=v/34$	0	0,1	0,2	0,3	0,35	0,4	0,441
$x [m]$	0	0,053	0,248	0,67	1,01	1,48	≈ 2

Na kraju prve horizontalne deonice cevovoda ($x=2$) je $\beta=0,441$, $v=0,441 \cdot 34=15\text{m/s}$.

Prema podacima iz tabele 7p, na sl.10p nacrtan je grafik funkcije $\beta(x)$, odnosno $v(x)$ ($v=34 \cdot \beta$).



Sl.8p Grafici funkcija $\beta(x)$ i $v(x)$ za prvu horizontalnu deonicu cevovoda (za $c=34\text{m/s}$)

U koleno H-Vg pšenična zrna ulaze srednjom brzinom $v_1=15\text{m/s}$, a, prema jednačini (5.38), njihova proračunska srednja brzina na izlazu iz ovog kolena je $v_2=7,4\text{m/s}$.

U vertikalnu deonicu cevovoda pšenična zrna ulaze srednjom brzinom $v_0=7,4\text{m/s}$ ($\beta_0=7,5/34=0,22$), a prema jednačini (5.17), za $F_{r0}=8,58$, $\lambda_{m,y}=0,002$ i $c_0/c=9,5/34=0,279$, dobija se:

$$\beta_{k,y} = 0,667, \quad v_{k,y} = 0,667 \cdot 34 = 22,7 \text{ m/s}.$$

Prema jednačini (5.19), za $c_0=9,5 \text{ m/s}$, $c=34 \text{ m/s}$, $\beta_{k,y}=0,667$ i $\rho_v/\rho_m \approx 0$, dobija se

$$x' = 8,032 \ln \frac{0,667}{0,667 - \beta} + 17,963 \ln(1 - 0,67 \cdot \beta),$$

$$x_0=0,338, (x=x_0 \text{ za } \beta=\beta_0=0,22),$$

pa se veza između pređenog puta u vertikalnoj deonici cevovoda (x') i bezdimenzijski svedene brzine pšeničnih zrna ($\beta=v/34$) opisuje jednačinom:

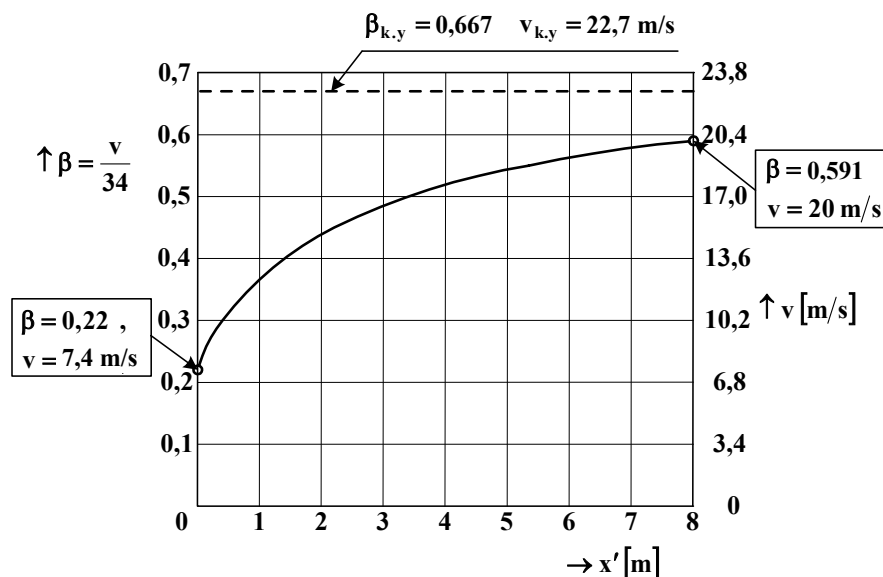
$$x' = 8,032 \ln \frac{0,667}{0,667 - \beta} + 17,963 \ln(1 - 0,67 \cdot \beta) - 0,338. \quad (12p)$$

Tabela 8p: $x'(\beta)$ za vertikalnu deonicu cevovoda

$\beta=v/34$	0,22	0,30	0,40	0,45	0,50	0,55	0,57	0,591
$x' [m]$	0	0,427	1,41	2,23	3,45	5,376	6,5	≈ 8

Na kraju vertikalne deonice cevovoda ($x' \approx 8$) je $\beta=0,591$, $v=0,591 \cdot 34=20 \text{ m/s}$.

Prema podacima iz tabele 8p, na sl.11p nacrtan je grafik funkcije $\beta(x')$, odnosno $v(x')$ ($v=34 \cdot \beta$).



Sl.11p Grafici funkcija $\beta(x')$ i $v(x')$ za vertikalnu deonicu cevovoda (za $c=34\text{m/s}$)

U koleno Vg–H pšenična zrna ulaze srednjom brzinom $v_1=20\text{m/s}$, a, prema formuli (5,49), proračunata njihova srednja brzina na izlazu iz ovog kolena je $v_2=11,2\text{m/s}$.

U drugu horizontalnu deonicu cevovoda pšenična zrna ulaze srednjom brzinom $v_0=11,2 \text{ m/s}$ ($\beta_0=11,2/34=0,328$), a njihova najveća

moguća srednja brzina u horizontalnom cevovodu (za $c=34\text{m/s}$) je $v_{k,x}=24,55\text{m/s}$ ($\beta_{k,x}=0,722$). Prema jednačini (11p), za $\beta=\beta_0=0,328$, dobija se $x_0=0,851$, pa za ovu deonicu cevovoda funkcija $x(\beta)$ ima oblik:

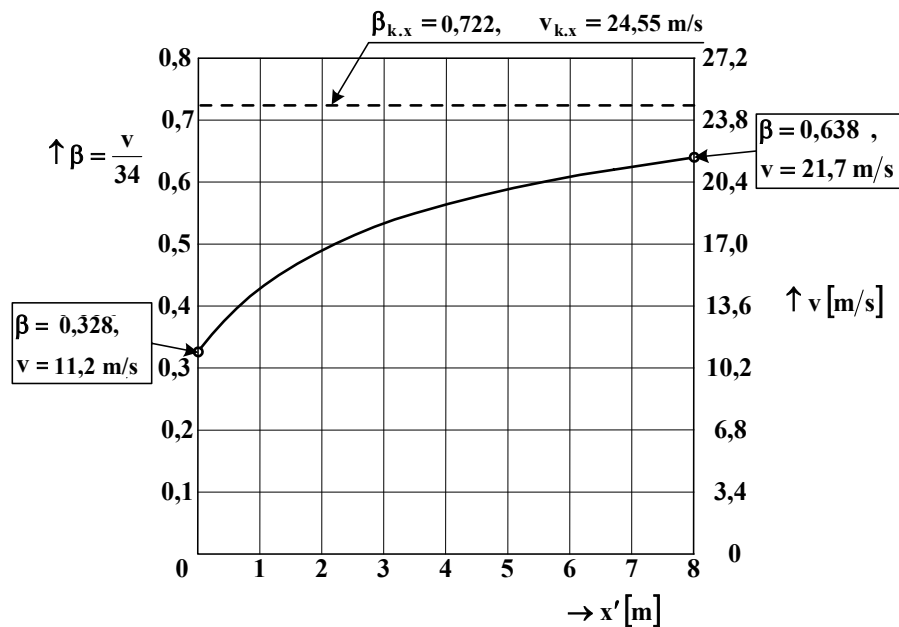
$$x' = 8,616 \ln \frac{0,722}{0,722 - \beta} + 19,42 \ln(1 - 0,615 \cdot \beta) - 0,851. \quad (13p)$$

Tabela 9p: $x'(\beta)$ za drugu horizontalnu deonicu cevovoda

$\beta=v/34$	0,328	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,62	0,63	0,638
$x' [m]$	0	0,63	1,28	2,18	3,50	5,54	6,71	7,40	≈ 8

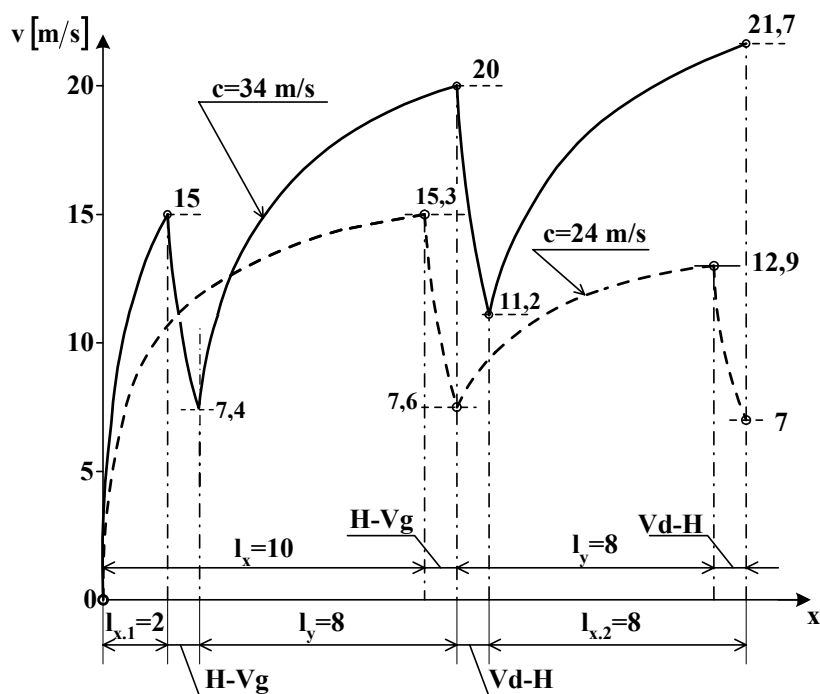
Na kraju druge horizontalne deonice cevovoda ($x=8$) je $\beta=0,638$, odnosno, $v=0,638 \cdot 34=21,7\text{m/s}$.

Prema podacima iz tabele 9p, na sl.12p nacrtan je grafik funkcije $\beta(x)$, odnosno $v(x)$ ($v=34 \cdot \beta$).



Sl.12p Grafici funkcija $\beta(x')$ i $v(x')$ za drugu horizontalnu deonicu cevovoda (za $c=34\text{m/s}$)

Na sl.13p dat je grafik promene srednje brzine pšeničnih zrna duž transportnog cevovoda. Radi uporedjenja, isprekidanom linijom dat je grafik funkcije $v(x)$ iz varijante I.1.



Sl.13p Promena srednje srednje brzine pšeničnih zrna duž cevovoda, u varijanti II.2 (puna linija) i u varijanti I.1 (isprekidana linija)

Proračunom dobijeni padovi pritiska, za $\lambda_v=0,02$, $\lambda_{m,x}=0,004$, $\lambda_{m,y}=0,002$, $\xi_k=0,38$, $\xi_{odv}=3$, $c=34$ m/s i rasporede brzina $v(x)$ datim na slikama 10p, 11p, i 12p, iznose:

- u prvoj horizontalnoj deonici cevovoda:

$$\Delta p_{x,1} = 2727,1 \text{ Pa}$$

$$(\Delta p'_{(v)} = 222 \text{ Pa}, \Delta p'_{(m)} = 57,9 \text{ Pa}, \Delta p''' = 2447,2 \text{ Pa})$$

- u vertikalnoj deonici cevovoda:

$$\Delta p_y = 4033,8 \text{ Pa}$$

$$(\Delta p'_{(v)} = 887,8 \text{ Pa}, \Delta p'_{(m)} = 173,2 \text{ Pa}, \Delta p'' = 903,5 \text{ Pa}, \Delta p''' = 2069,3 \text{ Pa})$$

- u drugoj horizontalnoj deonici cevovoda:

$$\Delta p_{x,2} = 2989,2 \text{ Pa}$$

$$(\Delta p'_{(v)} = 887,8 \text{ Pa}, \Delta p'_{(m)} = 387,5 \text{ Pa}, \Delta p''' = 1713,9 \text{ Pa})$$

- u kolenima je po $\Delta p_k=263,6$ Pa i
- u odvajaču (taložniku): $\Delta p_{odv}=2080$ Pa.

Ukupan pad pritiska vazduha u cevovodu i odvajaču je:

$$\Delta p = \Delta p_{x.1} + \Delta p_{x.2} + \Delta p_y + 2\Delta p_k + \Delta p_{odv}$$

$$\underline{\Delta p = 12357,3 \text{ Pa} \quad (1260 \text{ mmH}_2\text{O})}$$

Srednja brzina pšeničnih zrna na izlazu iz kolena H–Vg (kritičnog mesta, s obzirom na mogućnost začepjenja cevovoda) ista je kao u varijanti transporta I.a (7,5m/s) i takva je da garantuje da do začepjivanja cevovoda neće doći.

Da na izlazu iz kolena H–Vg srednja brzina pšeničnih zrna bude 7,4 m/s, ova se, u horizontalnom cevovodu, ispred ovog kolena, moraju ubrzati do brzine od 15 m/s. Kako je ova horizontalna deonica u varijanti trase II znatno kraća (5 puta), to je, za dostizanje ove brzine pšeničnih zrna, potrebna veća brzina vazduha, tj. veći protok vazduha. U poređenju sa varijantom I.a, u varijanti II.b protok vazduha veći je za 42%, dok je pad pritiska veći za 66%. Kako je snaga ventilatora proporcionalna proizvodu pada pritiska i protoka vazduha, snaga ventilatora u varijanti II.b, u poređenju sa varijantom I.a, veća je za 2,4 puta (135%).

ZAKLJUČAK

7. Pri istom masenom protoku materijala, pad pritiska transportnog vazduha u cevovodu pneumatičkog transporta opada sa smanjenjem protoka vazduha (sa povećanjem specifičnog masenog protoka materijala), s tim da je smanjenje protoka vazduha ograničeno s obzirom na mogućnost začepjenja cevovoda transportovanim materijalom.
8. S obzirom na mogućnost začepjenja, kritična mesta na trasi cevovoda su kolena H–Vg i Vd–H.
9. Trasa cevovoda ima veliki uticaj na funkcionalnost i ekonomičnost transporta. Povoljnije je da su kolena objedinjena na kraju trase, a da početak trase bude sa dovoljno dugim pravolinijskim deonicama, u kojima materijal može što više da se ubrza.