

2.2.1.1. Wariant 1

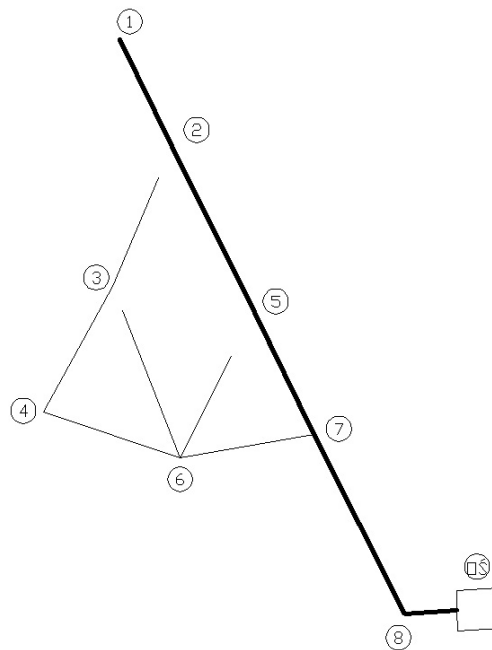
- Podwariant 1A

Tabela 1 Straty hydrauliczne dla podwariantu 1A

Odcinek	Mk _p	Mk _k	Mk _m	Q	Q _s	Q _m	d _{zew}	d _{wew}	v	Re	L	λ	h _l	Δh _l	h _g	H _m
	Mk	Mk	Mk	dm ³ /s	dm ³ /s	dm ³ /s	mm	mm	m/s	-	m	-	m	m	m	m
1-2	0	340	170	0,850	1,275	4,000	110	90	0,63	43282	135	0,04636	1,41	7,12	1,0	8,12
2-5	340	582	461	2,305	3,458	4,000	110	90	0,63	43282	205	0,04636	2,14	5,71	0,8	6,51
5-7	582	824	703	3,515	5,273	5,273	125	102,2	0,64	49930	150	0,04424	1,36	3,57	0,6	4,17
7-8	2037	2425	2231	11,155	16,733	16,733	200	163,6	0,80	99908	225	0,03742	1,68	2,21	0,3	2,51
8-OŚ	2425	2425	2425	12,125	18,188	18,188	200	163,6	0,87	108650	60	0,03737	0,53	0,53	0,0	0,53

Tabela 2 Rzędne linii ciśnienia dla podwariantu 1A

Numer węzła	Rzędna linii ciśnienia
-	m n.p.m.
1	272,32
2	270,91
5	268,77
7	267,41
8	265,73
OŚ	265,20



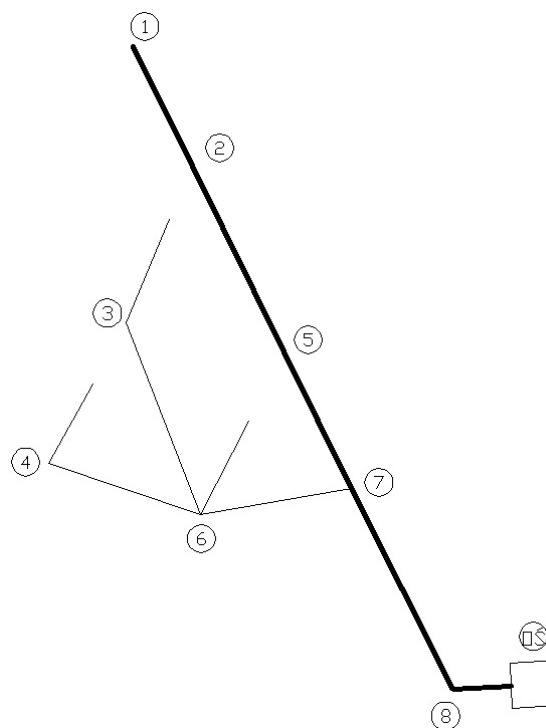
- Podwariant 1B

Tabela 3 Straty hydrauliczne dla podwariantu 1B

Odcinek	Mk _p	Mk _k	Mk _m	Q	Q _s	Q _m	d _{zew}	d _{wew}	v	Re	L	λ	h _l	Δh _l	h _g	H _m
	Mk	Mk	Mk	dm ³ /s	dm ³ /s	dm ³ /s	mm	mm	m/s	-	m	-	m	m	m	m
1-2	0	340	170	0,850	1,275	4,000	110	90	0,63	43282	135	0,04636	1,41	7,12	1,0	8,12
2-5	340	582	461	2,305	3,458	4,000	110	90	0,63	43282	205	0,04636	2,14	5,71	0,8	6,51
5-7	582	824	703	3,515	5,273	5,273	125	102,2	0,64	49930	150	0,04424	1,36	3,57	0,6	4,17
7-8	2037	2425	2231	11,155	16,733	16,733	200	163,6	0,80	99908	225	0,03742	1,68	2,21	0,3	2,51
8-OŚ	2425	2425	2425	12,125	18,188	18,188	200	163,6	0,87	108650	60	0,03737	0,53	0,53	0,0	0,53

Tabela 4 Rzędne linii ciśnienia dla podwariantu 1B

Numer węzła	Rzędna linii ciśnienia
-	m n.p.m.
1	272,32
2	270,91
5	268,77
7	267,41
8	265,73
OŚ	265,20



- Podwariant 2A

Tabela 5 Straty hydrauliczne dla podwariantu 2A

Odcinek	Mk _p	Mk _k	Mk _m	Q	Q _s	Q _m	d _{zew}	d _{wew}	v	Re	L	λ	h _l	Δh _l	h _g	H _m
	Mk	Mk	Mk	dm ³ /s	dm ³ /s	dm ³ /s	mm	mm	m/s	-	m	-	m	m	m	m
1-2	0	340	170	0,850	1,275	4,000	110	90	0,63	43282	135	0,04636	1,41	7,85	1,0	8,85
2-3	340	607	474	2,370	3,555	4,000	110	90	0,63	43282	170	0,04636	1,77	6,44	0,8	7,24
3-6	607	704	656	3,280	4,920	4,920	125	102,2	0,60	46809	205	0,04430	1,63	4,67	0,5	5,17
6-7	1286	1553	1420	7,100	10,650	10,650	180	147,2	0,63	70791	155	0,03894	0,83	3,04	0,2	3,24
7-8	2037	2425	2231	11,155	16,733	16,733	200	163,6	0,80	99908	225	0,03742	1,68	2,21	0,3	2,51
8-OŚ	2425	2425	2425	12,125	18,188	18,188	200	163,6	0,87	108650	60	0,03737	0,53	0,53	0,0	0,53

2.3. Obliczenia hydrauliczne podczas płukania sieci

2.3.1. Metodyka obliczeń

Objaśnienie oznaczeń:

Q_m – miarodajny strumień powietrza, dm^3/s

d_{zew} – średnica zewnętrzna przewodu, mm

d_{wew} – średnica wewnętrzna przewodu, mm

v – prędkość powietrza w przewodzie, m/s

Re – liczba Reynoldsa, –

ν – kinematyczny współczynnik lepkości, m^2/s ($\nu = 1,31 \cdot 10^{-6} m^2/s$)

L – długość odcinka, m

λ – współczynnik oporu liniowego, –

k – chropowatość bezwzględna, mm ($k = 1,5 mm$)

h_l – wysokość liniowych oporów hydraulicznych, m

g – przyspieszenie ziemskie, m/s^2 ($g = 9,81 m/s^2$)

Δh_l – suma strat liniowych od początku do oczyszczalni ścieków, m

h_g – różnica wysokości geometrycznej od początku odcinka do oczyszczalni ścieków, m

R_{ti} – rzędna terenu w węźle obliczeniowym na początku odcinka, m n. p. m.

$R_{tOŚ}$ – rzędna terenu w węźle OŚ, m n. p. m.

H_m – wysokość ciśnienia potrzebnego na pokonanie od początku odcinka do oczyszczalni ścieków, m

R_{lc} – rzędna linii ciśnienia, m n. p. m.

R_o – rzędna osi rurociągu, m n. p. m.

Obliczenia przeprowadzono wykorzystując poniższe równania:

- prędkość ścieków w przewodzie

$$v = \frac{4Q_m}{\pi \cdot d_{wew}^2}$$

- liczba Reynoldsa

$$Re = \frac{v \cdot d_{wew}}{\nu}$$

- współczynnik oporu liniowego

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71d_{wew}} \right)$$

- wysokość liniowych oporów hydraulicznych

$$h_l = \lambda \frac{L \cdot v^2}{2 \cdot d_{wew} \cdot g}$$

- suma strat liniowych od początku do oczyszczalni ścieków

$$\Delta h_l = \sum h_{li}$$

- różnica wysokości geometrycznej od początku do oczyszczalni ścieków

$$h_g = R_{ti} - R_{toś}$$

- wysokość ciśnienia jakie trzeba pokonać od początku do oczyszczalni ścieków

$$H_m = \Delta h_l + h_g$$

- rzędna linii ciśnienia

$$R_{lc} = R_o + H_m$$

Do obliczeń przyjęto podane niżej założenia:

- minimalna prędkość w przewodzie dla odcinków, w których w czasie normalnej pracy nie jest ona zachowana

$$v_{min} \geq 0,7 \text{ m/s}$$

Przykładowe obliczenie dla odcinka 1-2 z wariantu 1:

Przyjęto największy miarodajny strumień powietrza dla prędkości $v = 0,7 \text{ m/s}$ na odcinku, na którym w czasie normalnej pracy nie jest ona zachowana ($Q_m = 11,913 \text{ dm}^3/\text{s}$).

$$v = \frac{4 \cdot 11,913 \text{ dm}^3/\text{s}}{1000 \cdot \pi \cdot (0,09 \text{ m})^2} = 1,87 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{1,87 \text{ m/s} \cdot 0,09 \text{ m}}{1,31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 128473$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{128473 \sqrt{\lambda}} + \frac{1,5 \text{ mm}}{1000 \cdot 3,71 \cdot 0,09 \text{ m}} \right)$$

Rozwiązując numerycznie powyższe równanie współczynnik oporu liniowego wyniósł $\lambda = 0,04570$.

$$h_l = 0,04570 \cdot \frac{135 \text{ m} \cdot (1,87 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 0,09 \text{ m} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = 12,22 \text{ m}$$

$$\Delta h_l = (12,22 + 18,55 + 6,88 + 0,86 + 0,23) \text{ m} = 38,74 \text{ m}$$

$$h_g = (266,7 - 265,7) \text{ m n. p. m.} = 1,0 \text{ m}$$

$$H_m = 38,74 \text{ m} + 1,0 \text{ m} = 39,74 \text{ m}$$

$$R_{lc} = 264,2 \text{ m n. p. m.} + 39,74 \text{ m} = 303,94 \text{ m n. p. m.}$$

2.3.2. Tabela zestawienia wyników dla wariantów

2.3.2.1. Wariant 1

Tabela 6 Straty hydrauliczne dla wariantu 1

Odcinek	Q_m	d_{zew}	d_{wew}	v	Re	L	λ	h_l	Δh_l	h_g	H_m
	dm^3/s	mm	mm	m/s	-	m	-	m	m	m	m
1-2	11,913	110	90	1,87	128473	135	0,04570	12,22	38,74	1,0	39,74
2-5	11,913	110	90	1,87	128473	205	0,04570	18,55	26,52	0,8	27,32
5-7	11,913	125	102,2	1,45	113122	150	0,04372	6,88	7,97	0,6	8,57
7-8	11,913	200	163,6	0,57	71185	225	0,03767	0,86	1,09	0,3	1,39
8-OŚ	11,913	200	163,6	0,57	71185	60	0,03767	0,23	0,23	0,0	0,23

Tabela 7 Rzędne linii ciśnienia dla wariantu 1

Numer węzła	Rzędna linii ciśnienia
-	m n.p.m.
1	303,94
2	291,72
5	273,17
7	266,29
8	265,43
OŚ	265,20

2.3.2.2. Wariant 2

Tabela 8 Straty hydrauliczne dla wariantu 2

Odcinek	Q_m	d_{zew}	d_{wew}	v	Re	L	λ	h_l	Δh_l	h_g	H_m
	dm ³ /s	mm	mm	m/s	-	m	-	m	m	m	m
1-2	11,913	110	90	1,87	128473	135	0,04570	12,22	39,12	1,0	40,12
2-3	11,913	110	90	1,87	128473	170	0,04570	15,39	26,90	0,8	27,70
3-6	11,913	125	102,2	1,45	113122	205	0,04372	9,40	11,51	0,5	12,01
6-7	11,913	180	147,2	0,70	78656	155	0,03886	1,02	2,11	0,2	2,31
7-8	11,913	200	163,6	0,57	71185	225	0,03767	0,86	1,09	0,3	1,39
8-OŚ	11,913	200	163,6	0,57	71185	60	0,03767	0,23	0,23	0,0	0,23

Tabela 9 Rzędne linii ciśnienia dla wariantu 2

Numer węzła	Rzędna linii ciśnienia
-	m n.p.m.
1	304,32
2	292,10
3	276,71
6	267,31

7	266,29
8	265,43
OŚ	265,20

2.3.2.3. *Wariant 3*

Tabela 10 Straty hydrauliczne dla wariantu 3

Odcinek	Q _m	d _{zew}	d _{wew}	v	Re	L	λ	h _l	Δh _l	h _g	H _m
	dm ³ /s	mm	mm	m/s	-	m	-	m	m	m	m
1-2	11,913	110	90	1,87	128473	135	0,0457	12,22	41,36	1,0	42,36
2-5	11,913	110	90	1,87	128473	205	0,0457	18,55	29,14	0,8	29,94
5-6	11,913	125	102,2	1,45	113122	185	0,04372	8,48	10,59	0,6	11,19
6-7	11,913	180	147,2	0,70	78656	155	0,03886	1,02	2,11	0,2	2,31
7-8	11,913	200	163,6	0,57	71185	225	0,03767	0,86	1,09	0,3	1,39
8-OŚ	11,913	200	163,6	0,57	71185	60	0,03767	0,23	0,23	0,0	0,23

Tabela 11 Rzędne linii ciśnienia dla wariantu 3

Numer węzła	Rzędna linii ciśnienia
-	m n.p.m.
1	306,56
2	294,34
5	275,89
6	267,31
7	266,29
8	265,43
OŚ	265,20

2.3.2.4. Wariant 4

Tabela 12 Straty hydrauliczne dla wariantu 4

Odcinek	Q _m	d _{zew}	d _{wew}	v	Re	L	λ	h _l	Δh _l	h _g	H _m
	dm ³ /s	mm	mm	m/s	-	m	-	m	m	m	m
1-2	11,913	110	90	1,87	128473	135	0,0457	12,22	41,01	1,0	42,01
2-3	11,913	110	90	1,87	128473	170	0,0457	15,39	28,79	0,8	29,59
3-4	11,913	125	102,2	1,45	113122	160	0,04372	7,33	13,40	0,5	13,90
4-6	11,913	140	114,6	1,15	100603	160	0,04207	3,96	6,07	0,2	6,27
6-7	11,913	180	147,2	0,70	78656	155	0,03886	1,02	2,11	0,2	2,31
7-8	11,913	200	163,6	0,57	71185	225	0,03767	0,86	1,09	0,3	1,39
8-OŚ	11,913	200	163,6	0,57	71185	60	0,03767	0,23	0,23	0,0	0,23

Tabela 13 Rzędne linii ciśnienia dla wariantu 4

Numer węzła	Rzędna linii ciśnienia
-	m n.p.m.
1	306,21
2	293,99
3	278,60
4	271,27
6	267,31
7	266,29
8	265,43
OŚ	265,20

2.4. Pneumatyczna stacja płuczająca

2.4.1. Objętość zbiornika

Do obliczenia wymaganej objętości zbiornika wykorzystano najmniej korzystny wariant podczas płukania sieci, czyli wariant 3.

Tabela 14 Objętość rurociągu na podstawie danych z wariantu 3

Odcinek	d_{zew}	d_{wew}	L	V_r
	mm	mm	m	m^3
1-2	110	90	135	0,9
2-5	110	90	205	1,3
5-6	125	102,2	185	1,5
6-7	180	147,2	155	2,6
7-8	200	163,6	225	4,7
8-OŚ	200	163,6	60	1,3
			RAZEM	12,3

Objaśnienie oznaczeń:

V_{zb} – objętość zbiornika, m^3

V_r – objętość rurociągu, m^3

d_{zew} – średnica zewnętrzna przewodu, mm

d_{wew} – średnica wewnętrzna przewodu, mm

L – długość odcinka, m

$p_{pł}$ – ciśnienie płukania, bar ($p_{pł} = 3,5 bar$)

p_{zb} – ciśnienie w zbiorniku, bar ($p_{zb} = 10 bar$)

p_a – ciśnienie atmosferyczne, bar ($p_a = 1 \text{ bar}$)

Obliczenia przeprowadzono wykorzystując poniższe równania:

- objętość rurociągu

$$V_r = \sum_{i=1}^n L_i \cdot \frac{\pi \cdot d_{wew i}^2}{4}$$

- objętość zbiornika

$$V_{zb} = V_r \frac{p_{pł} + p_a}{p_{zb} + p_a}$$

W tabeli 28 przedstawiono wynik dla całkowitej objętości rurociągu, natomiast poniżej znajduje się obliczenie pojemności zbiornika.

$$V_{zb} = 12,3 \frac{3,5 + 1}{10 + 1} = 5,0 \text{ m}^3$$

2.4.2. Dobór zbiornika

Dobry zbiornik sprężonego powietrza musi mieć minimum 5 m^3 objętości oraz wytrzymałość na ciśnienie minimum 10 bar, np. zbiornik ciśnieniowy KP-5000-11/1,6 firmy Pneumat System.