

Program za projektiranje ventilacijskih instalacija metodom povrata statičkog tlaka

Gojko Magazinović, dipl. inž.,
Brodograđevna industrija »Split«,
RO »Institut«, 58000 Split, Put udarnika 19

Članak sadrži prikaz postupka proračuna ventilacionih instalacija metodom povrata statičkog pritiska. Osim toga, prikazuje dva programa za džepne računare »Hewlett-Packard 67". Programi, zasnovani na predloženom postupku, namenjeni su projektovanju ventilacionih instalacija okruglog i pravouglog poprečnog preseka. Na kraju teksta je izložen primer jednog proračuna.

Uvod

Složenije ventilacijske i klimatizacijske instalacije postavljaju visoke zahtjeve u pogledu tačnosti proračuna i preciznosti izvedbe, što se posebno iskazuje na visokotlačnim postrojenjima. Dimenzioniranje metodom povrata statičkoga tlaka omogućuje projektiranje konstrukcijski tlačno uravnoteženih instalacija, te instalacija čiji je statički tlak ventilatora manji, a time i troškovi energije.

Metoda povrata statičkoga tlaka zasniva se na principu takvog dimenzionisanja kanalskih elemenata, da porast statičkoga tlaka uslijed smanjenja brzine strujanja upravo nadoknađuje gubitke strujanja u dimenzioniranoj dionici. Time se postižu jednaki statički tlakovi ispred svakoga izlaznog elementa, ili odvojka.

Postoji više pristupa [1 do 5] dimenzioniranju ventilacijskih instalacija metodom povrata statičkoga tlaka. Postupak opisan u [1] je jedan od najjednostavnijih i najboljih. Proračun se vrši pomoću dijagrama, iz čega proizlazi i glavna poteškoća: ponekad je očitavanje otežano zbog velikog broja krivulja. Laux [2] je razvio analitički postupak koji se provodi ispunjavanjem tablica. U slučaju lošega pretpostavljanja brzine u zadnjoj dionici (prvoj u proračunu), čitav proračun se mora ponoviti. Postupak naveden u [3] izvodi se pogađanjem uz pomoć jednoga dijagrama. U slučaju pogrešnoga pretpostavljanja promjera dionice, postupak treba ponoviti. Stanković [4] je izradio računarski program zasnovan

na principima iz [3], kojim je projektant oslobođen uzastopnoga »pogađanja. Program, izrađen za računalo TI-59, omogućuje proračun elemenata okrugloga poprečnog presjeka. Pri proračunu pada tlaka nije uzet u obzir povrat statičkoga tlaka, te je proračunski statički tlak ventilatora veći od potrebnoga. Postupak naveden u [5] se, za razliku od ranije opisanih, zasniva ma principu nadoknađivanja izgubljenoga statičkoga tlaka u prethodnoj dionici, zbog čega je jednostavniji i brži. Izvodi se pomoću dijagrama. Na hidrauličnim nesimetričnim instalacijama ovaj postupak daje različite statičke tlakove na odvojcima, odnosno izlaznim elementima.

U ovom radu dam je još jedan pristup proračunu ventilacijskih instalacija, metodom povrata statičkoga tlaka pomoću računala. Osnovna obilježja ovoga postupka su da se smanjenje dinamičkoga tlaka koristi ne samo za nadoknađivanje gubitaka trenja, već i za nadoknađivanje lokalnih otpora, te da se pri proračunu ne koristi stalna vrijednost faktora povrata statičkoga tlaka, već se za svaki slučaj ova vrijednost aproksimira iz podataka navedenih u [6]. Za izloženi postupak dana su dva računarska programa za džepna računala »Hewlett-Packard 67« (jedan za okrugle, a drugi za pravokutne poprečne presjeke kanalskih elemenata), kojima se projektant oslobađa dugotrajnoga i zamornoga računanja. Postupak proračuna i rad programa prikazani su na primjeru.

Metoda povrata statičkog tlaka

Osnovne jednadžbe

Glavni cilj projektiranja ventilacijskih instalacija metodom povrata statičkoga tlaka je da se dimenzioniranjem kanalskih elemenata ostvare jednaki statički tlakovi ispred svakog odvojka i izlaznog elementa, te da se time postigne konstrukcijski tlačno uravnotežena instalacija.

Ovaj cilj može se ostvariti takvim dimenzioniranjem kanalskih elemenata na mjestima promjene presjeka, da porast statičkoga tlaka zbog smanjenja brzine strujanja, sa v_1 na v_2 bude jednak ukupnom padu tlaka u dimenzioniranoj dionici, odnosno da vrijedi:

$$c \cdot (v_1^2 - v_2^2) \cdot \frac{\rho}{2} = \left(\sum \xi_2 + \lambda_2 \cdot \frac{l_2}{d_2} \right) \cdot \frac{v_2^2}{2} \cdot \rho, \quad (1)$$

gdje je:

- c — faktor povrata statičkoga tlaka, odnosno faktor pretvorbe dinamičkog u statički tlak,
- v_1 — brzina strujanja u prethodnoj dionici, m/s,
- v_2 — brzina strujanja u dimenzioniranoj dionici, m/s,
- ρ — gustoća zraka, kg/m³,
- $\sum \xi_2$ — zbroj svih faktora lokalnih otpora u dimenzioniranoj dionici,
- λ_2 — faktor trenja u dimenzioniranoj dionici,
- l_2 — duljina dimenzionirane dionice, m,
- d_2 — promjer dimenzionirane dionice, m.

Tada je ukupna promjena statičkoga tlaka u dimenzioniranoj dionici jednaka nuli (slika 1a).

Izrazi U se promjer dionice funkcijom protoka i brzine:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}}, \quad (2)$$

gdje je Q — protok kroz dionicu, m³/s, a v — srednja brzina strujanja, m/s, te nazove li se razlika između lijeve i desne strane jednadžbe (1) funkcijom brzine v_2 , $F(v_2)$, ta jednadžba poprima oblik:

$$F(v_2) = c \cdot (v_1^2 - v_2^2) \cdot \frac{\rho}{2} - \left(\sum \xi_2 + \lambda_2 \cdot \frac{l_2}{\sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v_2}}} \right) \cdot \frac{v_2^2}{2} \cdot \rho = 0. \quad (3)$$

Iz jednadžbe (3) slijedi da se zadaća dimenzioniranja metodom povrata statičkoga tlaka svodi na određivanje takve brzine v_2 za koju će funkcija brzine $F(v_2)$ biti jednaka nuli (slika 2). Jednadžba (3) nema algebarskoga rješenja, te je treba riješiti nekim približnim postupkom, npr. postupkom uzastopnoga raspolavljanja [7].

Faktor povrata statičkoga tlaka

Faktor povrata statičkoga tlaka c , odnosno faktor pretvorbe dinamičkog u statički tlak, je

bezdimenzijska veličina definirana omjerom porasta statičkoga tlaka a njemu pripadajućeg smanjenja dinamičkoga tlaka struje zraka:

$$c = \frac{-\Delta p_s}{\Delta p_d} = \frac{p_{s2} - p_{s1}}{(v_1^2 - v_2^2) \cdot \frac{\rho}{2}}. \quad (4)$$

U radovima [1 do 5] se pri proračunima koriste konstantne vrijednosti faktora povrata statičkoga tlaka, iako se one mijenjaju u zavisnosti od omjera protoka Q_2/Q_1 . U radu [6] dani su rezultati mjerenja faktora povrata statičkoga tlaka u zavisnosti od Q_2/Q_1 . Pretpostavi li se ista zavisnost i od v_2/v_1 (slučaj $A_1 = A_2$), vrijednosti faktora povrata statičkoga tlaka mogu se aproksimirati funkcijom:

$$c = c_a \cdot \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{c_b}, \quad (5)$$

gdje je $c_a = 1,04$, a $c_b = 0,198$.

Na slici 3. dan je usporedni prikaz funkcije aproksimacije i rezultata mjerenja.

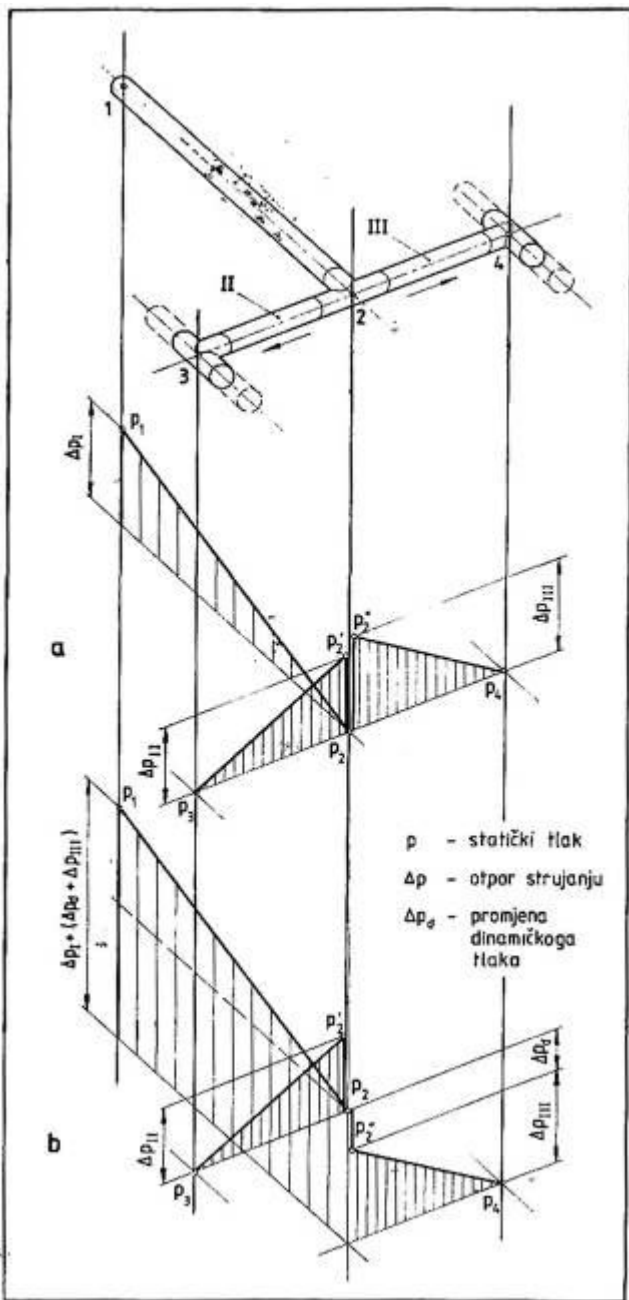
Postupak primjene

Prva dionica ventilacije dimenzionira se klasičnim načinom na osnovu protoka i željene brzine strujanja zraka. Sve ostale dionice se dimenzioniraju tako što se rješenjem jednadžbe (3) odredi idealna brzina v_2 , a na osnovu nje, odgovarajući idealni promjer. Naravno, u praksi će se rijetko dogoditi da idealni promjer bude jednak standardnom, te će usvajanjem standardnoga promjera doći do određenoga odstupanja od jednadžbe (3).

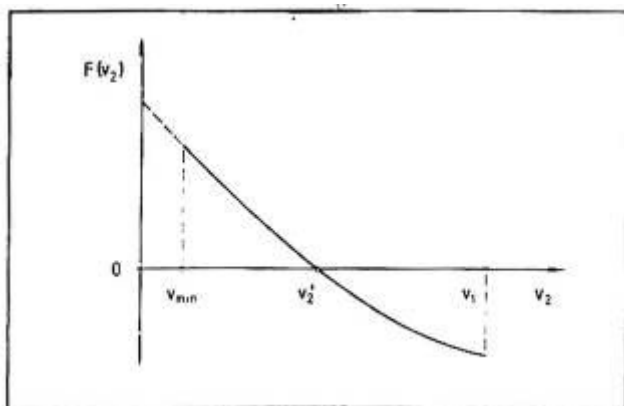
Izborom manjega promjera od idealnoga, stvarna brzina v_2 bit će veća od v_2 , a time i $F(v_2) < 0$ (slika 2). U tom slučaju je povrat statičkoga tlaka manji od gubitaka tlaka uslijed otpora strujanju. Obratno, izborom većega promjera, stvarna brzina bit će manja od idealne, a time i $F(v_2) > 0$. Tada je povrat statičkoga tlaka veći od gubitaka strujanja.

U slučaju da se raspoloživim dinamičkim tlakom (smanjenjem brzine do v_{min}) ne mogu nadoknaditi gubici strujanja, treba prići povećanju brzine po razdvajanju, čime će se povećati dinamički, ali i smanjiti statički tlak zraka (slika 1b). Tako dobijeni dinamički tlak moći će poslužiti za kasnija nadoknađivanja gubitaka strujanja. Jasno, ovim će porasti i ukupni tlak ventilatora, pa pri izboru povećanja brzine treba biti posebno pažljiv, kako bi se izbjeglo nepotrebno opterećivanje ventilatora. Povećanjem brzine u jednom ogranku, svi se prethodni ogranci dovode na viši

Sl. 1. Primjena principa povrata statičkoga tlaka



Sl. 2. Prikaz funkcije brzine $F(v_2)$



tlačni nivo (slika 1b), te je u cilju Uravnotežavanja instalacije, potrebno u njima ugraditi prigušne elemente.

Proračun padova tlaka

Pad tlaka u prvoj dionici ventilacijske instalacije određen je jednačbom:

$$\Delta p_1 = \left(\sum \xi_1 + \lambda_1 \cdot \frac{l_1}{d_1} \right) \cdot \frac{v_1^2}{2} \cdot \rho \quad (6)$$

Padovi tlaka u ostalim dionicama određeni su ovako:

$$\Delta p_n = \left(\sum \xi_n + \lambda_n \cdot \frac{l_n}{d_n} \right) \cdot \frac{v_n^2}{2} \cdot \rho - c \cdot (v_{n-1}^2 - v_n^2) \cdot \frac{\rho}{2} \quad (7)$$

pri čemu indeksi n i $n-1$ imaju logički, a ne algebarski smisao. Ukupni statički tlak ventilatora tada je:

$$\Delta p_{uk} = \Delta p_1 + \sum \Delta p_n + \Delta p_i \quad (8)$$

gdje je Δp_i — pad tlaka u izlaznom (indukcionom) uređaju, Pa.

Jednačbom (8) treba obuhvatiti dionice »ma najnepovoljnijem putu«, odnosno one dionice u nizu, čiji je zbroj tlakova najveći.

Opis programa

Na osnovu izloženoga postupka je za džepno računalo »Hewlett-Packard 67« izrađen program za projektiranje ventilacijskih instalacija metodom povrata statičkoga tlaka. Cjelokupni program se sastoji iz tri dijela, od kojih svaki treba biti snimljen na svoju magnetsku karticu. Prvi dio je program za projektiranje »instalacija okrugloga poprečnog presjeka (tablica 1). Drugi dio je program za projektiranje instalacija pravokutnoga poprečnog presjeka (tablica 2), a treći, zajednički dio, predstavlja pomoćne podatke koje program koristi pri proračunima.

Određivanje brzine statičkoga povrata vrši se postupkom uzastopnoga raspolavljanja [7], s najvećim odstupanjem rezultata manjim od 0,1 m/s. Veća točnost programa za okrugle presjeka može se postići izmjenom programskoga koraka br. 106 (105 za pravokutne presjeka). Na primjer, upisivanjem naredbe DSP 2 ograničava se najveće odstupanje na manje od 0,01 m/s. Zbog bržeg izvođenja iterativnoga postupka proračun Faktora trenja i faktora povrata statičkoga tlaka vrši se samo u prvoj iteraciji. Ispitivanjem na 660 uzoraka je utvrđeno da se time ostvaruje prosječna greška od svega 1,30%. Brisanjem programskoga

koraka br. 97 (za okrugle presjeke), odnosno 96, za pravokutne presjeke, postiže se proračun c i λ u svakoj iteraciji. Jasno, time će vrijeme izvođenja programa biti dulje. Inače, bez gonnjih izmjena, prosječno vrijeme cjelokupnoga proračuna jedne dionice je 58 s, što je za 40% kraće od programa iiz [4].

Okrugli presjeci

Za zadani protok kroz prvu dionicu i odabranu početnu brzinu, program određuje idealni promjer dionice. Ovaj promjer se zaokružuje na najbližu standardnu vrijednost, nakon čega program određuje površinu poprečnoga presjeka dionice, kao i stvarnu brzinu zraka u dionici. Po zadavanju duljine dionice i ukupnoga faktora lokalnih otpora, program određuje iznos faktora trenja i pad tlaka u dionici.

U ovom programu faktor trenja se određuje Pečornikovom jednadžbom [8]:

$$\lambda = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{15}{Re} + 0,269 \cdot \frac{k}{d} \right) \right]^2}, \quad (9)$$

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}, \quad (10)$$

gdje su:

k — apsolutna hrapavost stijenke kanala, m,

Re — Reynoldsova značajka,

ν — kinematička viskoznost zraka, m^2/s

Kartica pomoćnih podataka sadrži vrijednosti za apsolutnu hrapavost ($k = 0,15$ mm), gustoću ($\rho = 1,205$ kg/m^3) i kinematičku viskoznost zraka ($\nu = 15,06 \cdot 10^{-6}$ m^2/s). Ove vrijednosti se, po potrebi, mogu mijenjati.

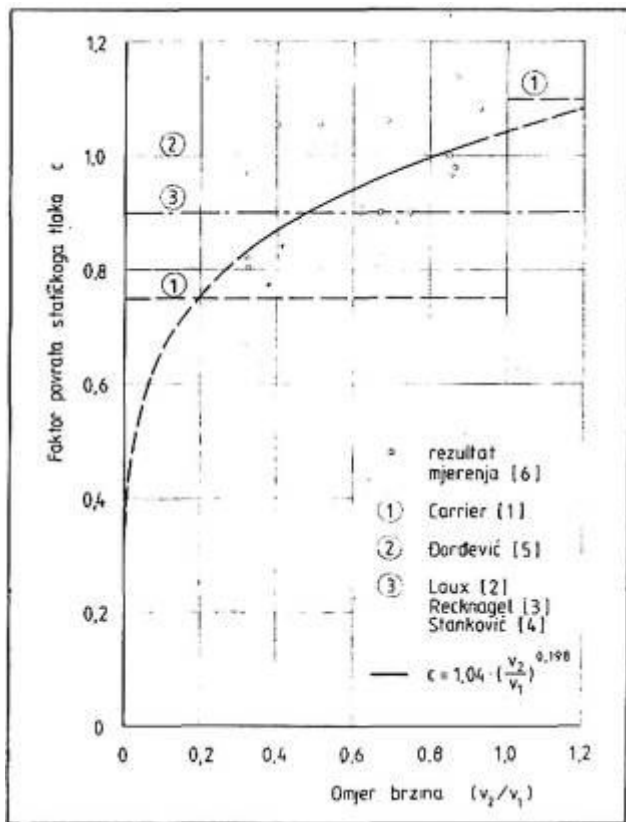
Po završenom proračunu prve, pristupa se proračunu ostalih dionica. Prethodno treba upisati iznos najmanje, granične, brzine strujanja V_{min} ispod koje se neće dimenzionirati ni jedna dionica, već će se prijeći na povećanje brzine strujanja. Po upisivanju brzine strujanja u prethodnoj dionici, te protoka, duljine i ukupnoga faktora lokalnih otpora dionice koja se dimenzionira, program određuje idealnu brzinu statičkoga povrata, te odgovarajući promjer dionice. Nakon izbora standardnoga promjera, program određuje površinu poprečnoga presjeka dionice, te stvarnu brzinu zraka. Potom se određuju faktor trenja i pad tlaka u dionici.

Pravokutni presjeci

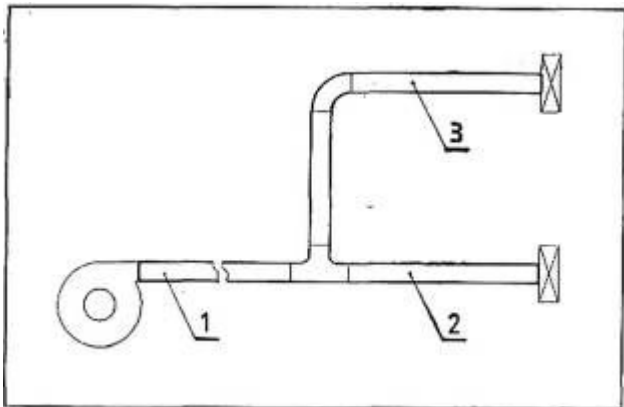
Za zadani protok kroz prvu dionicu i odabranu početnu brzinu, program određuje idealnu površinu poprečnoga presjeka dionice. Nakon upisivanja jedne dimenzije poprečnoga presjeka, program određuje drugu. Ovako određena dimenzija se zaokružuje na standardnu vrijednost,

Br. Naredba	Br. Naredba	Br. Naredba	Br. Naredba	Br. Naredba	Br. Naredba	Br. Naredba
001 *LBL 5	030 F=0	063 I/X	094 P+S	125 x	156 Y*	187 F2?
002 STO 6	033 SF1	064 RCL 0	095 GSB 4	126 DSP I	157 RCL 8	188 R/S
003 X<Y	034 RCL 6	065 x	096 P+S	127 RTN	158 x	189 STO A
004 STO 0	035 P+S	066 STO 2	097 DF1	128 *LBL 3	159 P+S	190 RTN
005 X<Y	036 STO 2	067 DSP 2	098 X>0 ?	129 RCL 3	160 STO 0	191 *LBL 4
006 RTN	037 RCL 0	068 RTN	099 GTO 3	130 STO 1	161 RCL 5	192 RCL 5
007 *LBL 7	038 STO 1	069 *LBL D	100 RCL 3	131 GTO 1	162 X=0 ?	193 X=0 ?
008 STO 3	039 P+S	070 X<I	101 STO 2	132 *LBL 4	163 RTN	194 GTO 7
009 X<Y	040 GSB 4	071 PSE	102 *LBL 1	133 STO 2	164 RCL 2	195 RCL A
010 STO 5	041 P+S	072 PSE	103 RCL 2	134 P1	165 RCL 3	196 RCL 5
011 X<Y	042 X>0 ?	073 X<I	104 RCL 1	135 x	166 x	197 x
012 RTN	043 GTO 0	074 RTN	105 -	136 I/X	167 RCL E	198 RCL 3
013 *LBL L	044 P+S	075 *LBL E	106 DSP I	137 RCL 0	168 ÷	199 ÷
014 P+S	045 CLX	076 SF2	107 RND	138 x	169 I/X	200 *LBL 7
015 STO 0+	046 RTN	077 GSB 5	108 X=0 ?	139 4	170 1	201 RCL 4
016 P+S	047 *LBL C	078 GSB 6	109 GTO 0	140 x	171 5	202 +
017 RTN	048 RCL 8	079 F0?	110 RCL 3	141 √X	172 >	203 RCL 2
018 *LBL 0	049 ÷	080 GSB 8	111 P+S	142 STO 3	173 RCL C	204 X ²
019 RCL 7	050 STO 3	081 F0?	112 DSP 2	143 F1?	174 RCL 3	205 x
020 ÷	051 X ²	082 -	113 R/S	144 GSB 5	175 ÷	206 2
021 RTN	052 F1	083 RCL D	114 I/X	145 GSB 6	176 RCL 8	207 ÷
022 *LBL A	053 x	084 x	115 RCL 0	146 GSB 8	177 ÷	208 RTN
023 CPO	054 4	085 DSP I	116 x	147 -	178 RCL 9	209 *LBL 8
024 STO 2	055 ÷	086 RTN	117 *LBL 2	148 CHS	179 x	210 RCL 6
025 STON	056 STO I	087 *LBL 0	118 STO 1	149 RTN	180 +	211 X ²
026 X<Y	057 RCL 1	088 RCL 1	119 4	150 *LBL 5	181 LOC	212 RCL 2
027 STO 0	058 X<Y	089 RCL 2	120 x	151 RCL 2	182 X ²	213 X ²
028 RCL 2	059 XCH	090 +	121 P1	152 RCL 6	183 4	214 -
029 ÷	060 X<I	091 2	122 ÷	153 ÷	184 x	215 RCL B
030 RTN 2	061 DSP 4	092 ÷	123 √X	154 P+S	185 I/X	216 x
031 *LBL B	062 R/S	093 STO 3	124 RCL 8	155 RCL 9	186 DSP 3	217 RTN

Tablica 1. Ispis programa za projektovanje ventilacijskih instalacija okrugloga poprečnog presjeka metodom povrata statičkoga tlaka



Sl. 3. Usporedba korištenih vrijednosti faktora povrata statičkoga tlaka s rezultatima mjerenja



Sl. 4. Shema ventilacijske instalacije iz primjera proračuna metodom povrata statičkoga tlaka. Dionica 1: $Q_1 = 400 \text{ m}^3/\text{h}$, $v_1 = 9 \text{ m/s}$, $l_1 = 10 \text{ m}$; dionica 2: $Q_2 = 200 \text{ m}^3/\text{h}$, $l_2 = 5 \text{ m}$, ξ odvojka = 0,15; dionica 3: $Q_3 = 200 \text{ m}^3/\text{h}$, $l_3 = 9 \text{ m}$, ξ odvojka = 1,5, ξ koljena = 0,25; pad tlaka izlaznoga uređaja $\Delta p_i = 150 \text{ Pa}$.

nakon čega program određuje stvarni iznos površine poprečnoga presjeka i stvarnu brzinu zraka u dionici. Po zadavanju duljine dionice i ukupnoga faktora lokalnih otpora, program određuje iznos faktora trenja i pad tlaka u dionici. Promjer dionice u jednažbama (1), (6), (7), (9) i (10) tada je određen hidrauličkim promjerom:

$$d = \frac{2 \cdot b \cdot h}{b + h}, \quad (11)$$

gdje su b i h širina i visina pravokutnoga poprečnog presjeka.

Prije prelaska na proračun ostalih dionica, potrebno je upisati iznos najmanje, granične, brzine strujanja v_{\min} ispod koje se neće dimenzionirati ni jedna dionica, već će se prijeći na povećanje brzine strujanja. Po upisivanju brzine strujanja u prethodnoj dionici, te protoka, duljine, ukupnoga faktora lokalnih otpora i jedne dimenzije poprečnoga presjeka dionice koja se dimenzionira (najčešće jedna od dimenzija prethodne dionice), program određuje idealnu brzinu statičkoga povrata, te odgovarajuću drugu dimenziju poprečnoga presjeka. Po izboru standardne dimenzije, program određuje stvarnu površinu poprečnoga presjeka, te stvarnu brzinu zraka. Nakon toga se određuju faktor trenja i pad tlaka u dionici.

Sadržaji registara i kartice podataka

U tablici 3. dati su sadržaji pojedinih registara računala, kao i podaci pohranjeni na kartici podataka.

Upute za korištenje programa

Podaci	Tipke	Rezultati
--------	-------	-----------

1. Priprema proračuna: presnimiti sadržaje magnet-ske kartice izabranoga programa, te kartice podataka

2. Po izboru: unos podataka za hrapavost stijenke k , gustoću i kinematičku viskoznost zraka

k (mm)	[STO] [C]	k (mm)
ρ (kg/m^3)	[STO] [D]	ρ (kg/m^3)
ν (m^2/s)	[STO] [E]	ν (m^2/s)

3. Po izboru: pretvorba broječanoga iznosa protoka

Q (m^3/h)	[f] [e]	Q (m^3/h)
-------------------------------	---------	-------------------------------

4. Dimenzioniranje prve dionice

4.1. Okrugli poprečni presjeci

Q (m^3/s)	[ENTER]	Q (m^3/s)
v (m/s)	[A]	A (m^2)
	[R/S]	d (mm)

4.2. Pravokutni poprečni presjeci

Q (m^3/s)	[ENTER]	Q (m^3/s)
v (m/s)	[A]	A (m^2)
b (mm)	[R/S]	h (mm)

5. Unos najmanje, granične, brzine strujanja

v_{\min} (m/s)	[f] [c]	v_{\min} (m/s)
------------------	---------	------------------

Br. Naredba	Br. Naredba	Br. Naredba	Br. Naredba	Br. Naredba	Br. Naredba	Br. Naredba	Br. Naredba	Br. Naredba
001 *LBL a	033 DSP 4	065 x	097 X>0 ?	129 *LBL 4	161 x	193 RCL 3		
002 STD 6	034 R/S	066 DSP 4	098 GTD 3	130 STD 2	162 RCL E	194 ÷		
003 X↔Y	035 RCL I	067 R/S	099 RCL 3	131 RCL 7	163 ÷	195 *LBL 7		
004 STD 0	036 ÷	068 1/X	100 STD 2	132 x	164 1/X	196 RCL 4		
005 X↔Y	037 STD 7	069 RCL 0	101 *LBL 1	133 1/X	165 1	197 +		
006 RTN	038 GTD 2	070 x	102 RCL 2	134 RCL 0	166 5	198 RCL 2		
007 *LBL b	039 *LBL B	071 STD 2	103 RCL 1	135 x	167 x	199 X ²		
008 STD 4	040 RCL I	072 DSP 2	104 -	136 STD 8	168 RCL C	200 x		
009 X↔Y	041 ÷	073 RTN	105 DSP 1	137 GSB 9	169 RCL I	201 2		
010 STD 5	042 STD 7	074 *LBL E	106 RND	138 F1?	170 ÷	202 ÷		
011 X↔Y	043 SF0	075 SF2	107 X≠0 ?	139 GSB 5	171 RCL 3	203 RTN		
012 RTN	044 SF1	076 GSB 5	108 GTD 0	140 GSB 6	172 ÷	204 *LBL 8		
013 *LBL c	045 RCL 6	077 GSB 6	109 RCL 3	141 GSB 8	173 RCL 9	205 RCL 6		
014 P↔S	046 P↔S	078 F0?	110 P↔S	142 -	174 x	206 X ²		
015 STD 0	047 STD 2	079 GSB 8	111 DSP 2	143 CHS	175 +	207 RCL 2		
016 P↔S	048 RCL 0	080 F0?	112 R/S	144 RTN	176 LDG	208 X ²		
017 RTN	049 STD 1	081 -	113 1/X	145 *LBL 5	177 X ²	209 -		
018 *LBL e	050 P↔S	082 RCL D	114 RCL 0	146 RCL 2	178 4	210 RCL B		
019 P↔S	051 GSB 4	083 x	115 x	147 RCL 6	179 x	211 x		
020 RCL 7	052 P↔S	084 DSP 1	116 STD 1	148 ÷	180 1/X	212 RTN		
021 P↔S	053 X>0 ?	085 RTN	117 RCL 7	149 P↔S	181 DSP 3	213 *LBL 9		
022 ÷	054 GTD 0	086 *LBL 0	118 *LBL 2	150 RCL 9	182 F2?	214 RCL 7		
023 RTN	055 P↔S	087 RCL 1	119 ÷	151 Y*	183 R/S	215 RCL 8		
024 *LBL A	056 CLX	088 RCL 2	120 STD 8	152 RCL 8	184 STD A	216 x		
025 CF0	057 RTN	089 +	121 RCL 1	153 x	185 RTN	217 2		
026 STD 2	058 *LBL C	090 2	122 x	154 P↔S	186 *LBL 6	218 x		
027 STD 6	059 RCL I	091 ÷	123 DSP 1	155 STD B	187 RCL 5	219 RCL 7		
028 X↔Y	060 ÷	092 STD 3	124 RTN	156 RCL 5	188 X=0 ?	220 RCL 8		
029 STD 0	061 STD 8	093 P↔S	125 *LBL 3	157 X=0 ?	189 GTD 7	221 +		
030 RCL 2	062 GSB 9	094 GSB 4	126 RCL 3	158 RTN	190 RCL A	222 ÷		
031 ÷	063 X↔Y	095 P↔S	127 STD 1	159 RCL 2	191 RCL 5	223 STD 3		
032 STD 1	064 RCL 7	096 CF1	128 GTD 1	160 RCL 3	192 x	224 RTN		

Tablica 2. Ispis programa za projektiranje ventilacijskih instalacija pravokutnoga poprečnog presjeka metodom povrata statičkoga tlaka

6. Dimenzioniranje ostalih dionica

6.1. Unos protoka kroz dimenzioniranu dionicu i brzine strujanja u prethodnoj dionici

Q (m³/s) [ENTER] Q (m³/s)
v_p (m/s) [f] [a] v_p (m/s)

6.2. Unos podataka za duljinu i ukupni faktor lokalnih otpora dimenzionirane dionice

ι (m) [ENTER] ι (m)
Σξ [f] [b] Σξ

6.3. Okrugli poprečni presjeci

[B] v (m/s)
[R/S] d (mm)

6.4. Pravokutni poprečni presjeci

b (mm) [B] v (m/s)
[R/S] h (mm)

7. Mijenjanje dimenzija

7.1. Okrugli poprečni presjeci

d (mm) [C] A (m²)
[R/S] v (m/s)

7.2. Pravokutni poprečni presjeci

h (mm) [C] A (m²)
[R/S] v (m/s)

8. Po izboru: odstupanje usvojene od idealne površine poprečnoga presjeka (samo za okruge presjeka)

[D] »ΔA« (%)

9. Proračun pada tlaka

[E] λ
[R/S] Δp (Pa)

Napomene:

- Redosljed izvođenja proračuna je proizvoljan (pojedini koraci se po želji mogu ponavljati), s tim što se mijenjanje dimenzija i proračun pada tlaka vrši po završenom dimenzioniranju dionice.
- Rezultat proračuna brzine statičkoga povrata (korak br. 6.3 ili 6.4) jednak nuli (0,00) označava da je v' < v_{min}, te da mijenjanjem dimenzija (korak br. 7) treba povećati brzinu strujanja.

Primjer

Na slici 4. dana je shema tlačne ventilacijske instalacije za koju treba izvršiti dimenzioniranje elemenata, te odrediti statički tlak ventilatora. Elementi ventilacijske instalacije su pravokutnoga poprečnog presjeka, za čije dimenzije treba birati standardne duljine reda R 10 (JUS A.A0.010).

Podaci	Tipke	Rezultati
1. Proračun prve dionice		
$Q_1 = 400 \text{ m}^3/\text{h}$	[f] [e]	$Q_1 = 0,11 \text{ m}^3/\text{s}$
$v'_1 = 9 \text{ m/s}$	[A]	$A'_1 = 0,0123 \text{ m}^2$
$b_1 = 100 \text{ mm}$	[R/S]	$h'_1 = 123,5 \text{ mm}$
$h_1 = 125 \text{ mm}$	[C]	$A_1 = 0,0125 \text{ m}^2$
	[R/S]	$V_1 = 8,89 \text{ m/s}$
$l_1 = 10 \text{ m}$	[ENTER]	$l_1 = 10,00 \text{ m}$
$\xi_1 = 0$	[E] [b]	$\xi_1 = 0,00$
	[E]	$\lambda_1 = 0,024$
	[R/S]	$\Delta p_1 = 102,8 \text{ Pa}$
2. Proračun druge dionice		
$v_{\min} = 1 \text{ m/s}$	[f] [c]	$v_{\min} = 1,0 \text{ m/s}$
$Q_2 = 200 \text{ m}^3/\text{h}$	[f] [e]	$Q_2 = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$
$v_1 = 8,89 \text{ m/s}$	[f] [a]	$v_1 = 8,9 \text{ m/s}$
$l_2 = 5 \text{ m}$	[ENTER]	$l_2 = 5,0 \text{ m}$
$\xi_2 = 0,15$	[f] [b]	$\xi_2 = 0,2$
$b_2 = 100 \text{ mm}$	[B]	$v'_2 = 5,53 \text{ m/s}$
	[R/S]	$h'_2 = 100,5 \text{ mm}$
$h_2 = 100 \text{ mm}$	[C]	$A_2 = 0,0100 \text{ m}^2$
	[R/S]	$v_2 = 5,56 \text{ m/s}$
	[E]	$\lambda_2 = 0,026$
	[R/S]	$\Delta p_2 = -0,4 \text{ Pa}$

3. Proračun treće dionice

$Q_3 = 200 \text{ m}^3$	[f] [e]	$Q_3 = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$
$V_1 = 8,89 \text{ m/s}$	[f] [a]	$v_1 = 8,9 \text{ m/s}$
$l_3 = 9 \text{ m}$	[ENTER]	$l_3 = 9,0 \text{ m}$
$\xi = 1,75$	[f] [b]	$\xi_3 = 1,8$
$b_3 = 100 \text{ mm}$	[B]	$v'_3 = 3,93 \text{ m/s}$
	[R/S]	$h'_3 = 141,4 \text{ mm}$
$h_3 = 125 \text{ mm}$	[C]	$A_3 = 0,0125 \text{ m}^2$
	[R/S]	$v_3 = 4,44 \text{ m/s}$
	[E]	$\lambda_3 = 0,026$
	[R/S]	$\Delta p_3 = 13,8 \text{ Pa}$

4. Razlika statičkih tlakova pred izlaznim uređajima ogranaka 2. i 3. iznosi 14,2 Pa. Statički tlak ventilatora je:

$$\Delta p_{\text{uk}} = \Delta p_1 + \Delta p_3 + \Delta p_1 = 267 \text{ Pa.}$$

Tablica 3. Sadržaji registara i kartica podataka

Registar	Okrugli presjeci	Pravokutni presjeci	Kartica podataka
RO	Q_i	Q_i	—
R1	A_i	A_i	—
R2	v_i	V_i	—
R3	d_i	d_i	—
R4	ξ_i	ξ_i	—
R5	l_i	l_i	—
R6	v_p	v_p	—
R7	3600	b.	3600
R8	1000	h.	1000
R9	0,269	0,269	0,269
RSO	V_{\min}	V_{\min}	—
RS1	V_A	V_A	—
RS2	V_B	V_B	—
RS3	V_c	V_c	—
RS7	—	3600	3600
RS8	$c_a/2$	$c_a/2$	0,52
RS9	C_h	C_h	0,198
RA	λ	λ	—
RB	$c/2$	$c/2$	—
RC	k	k	0,15
RD	ρ	ρ	1,205
RE	v	v	$15,06 \cdot 10^{-6}$
RI	ΔA	1000	1000

Literatura

- [1] * * *: *Handbook of Air Conditioning System Design*, McGraw-Hill, New York, 1965.
- [2] LAUX, H.: *Kanalnetzrechnung für Hochdruck-Klimaanlagen*, Gesundheits-Ingenieur 88 (1967) 1, 1—13.
- [3] RECKNAGEL-SPRENGER: *Grejanje i klimatizacija*, Građevinska knjiga, Beograd, 1984.
- [4] STANKOVIĆ, V.: *Primena mini računara u projektovanju*, Klimatizacija grejanje hlađenje 9(1980) 4, 41—46.
- [5] ĐORĐEVIĆ, A.: *Projektovanje klima-instalacija*, Tehnička knjiga, Beograd, 1967.
- [6] ASHLEY, C. M., S. F. GILMAN i R. A. CHURCH: *Branch Fitting Performance at High Velocity*, Heating, Piping and Air Conditioning (1955) 12, 117—122.
- [7] CARNAHAN, B., H. A. LUTHER i J. O. WOLKES: *Applied Numerical Methods*, John Wiley and Sons, New York, 1969.
- [8] PEČORNIK, M.: *Tehnička mehanika fluida*, Školska knjiga, Zagreb, 1985.