PRIMJENA DIGITALNIH RAČUNARA NA PRORAČUN VAZDUŠNIH KANALA SISTEMA VISOKOG PRITISKA METODOM LAUXA

Mr KULIĆ Emin, dipl.ing.,
Mr LEKIĆ Alija, dipl.ing.,
BAJRAMOVIĆ Rasim, dipl.ing.,
"ITEN-ENERGOINVEST",
Sarajevo

1. Uvod

Kod planiranja izgradnje novog objekta kao napr. upravne zgrade, škole, hotela i sl., investitor je suočen sa odlukom koja ima veoma široke ekonomske implikacije, a da pri tome nema pouzdanih cijena kojima bi potvrdio svoju odluku.

Cijena arhitektonskih elemenata zgrade se može odrediti u današnjim uslovima i kod nas dosta pouzdano pa i brzo. Medjutim, investicije i pogonski troškovi vezani za pojam "unutrašnji vazdušni komfor" su u praksi dosta rastegljivi i podložni raznim manipulacijama. Apstrahujući ovo posljednje i oslanjajući se u svijetu prihvaćene standarde u klimatizaciji vazduha, moguće je i ove troškove specificirati tačno i brzo. To je omogućeno primjenom kompjutera i u svijetu postaje svakodnevna praksa da se investitoru ili njegovom konsultantu omogući brzo upoznavanje sa stepenom komfora, fleksibilnošću i mogućnošću kontrole koji mogu biti dobijeni od raznih sistema klimatizacije vazduha, kao i način na koji će konstrukcija zgrade uticati na njih, na investicije, pogonske troškove i potreban prostor za razne alternative.

Da bi se sve ovo obuhvatilo i imalo na raspolaganju u kratkom vremenu potrebno je imati čitav niz programa kao što su napr. programi za [1] :

1. Vrednosti temperature u prostoriji bez klimatizacije, sa i bez mehaničke ventilacije.
2. Toplotni i rashladni učin.
3. Podatke za instalisanje i pogon raznih sistema klimatizacije.
4. Dimenzionisanje kanala i napor ventilatora.

5. Dimenzionisanje cjevovoda za vodu.

Jasno je da je razvijanje vlastitih programa veoma skupo, zahtijeva veoma specijalizovan kadar, dugo vrijeme za razvijanje programa i savladavanje otpora za njihovo konačno uvodjenje u eksploataciju. Trenutno je situacija u Jugoslaviji takva da su programi u razvoju i to za grupu 2. za rashladni učin [2]. Za grupu 5. se ranije razvijeni programi mogu jednostavno modificirati za primjenu u klimatizaciji [3].

Da bi se i kod nas povećala informisanost investitora te da bi se i samom projektantu omogućila analiza alternativnog projektovanja pristupilo se uz saradnju stručnjaka "Unioninvesta" - Sarajevo izradi programa iz grupe 4.

2. Izbor metode proračuna sistema vazdušnih kanala

Zadatak vazdušnih kanala je da omoguće transport vazduha od postrojenja za njegovu pripremu do prostora koji se klimatizuje. Važnost njihove funkcije veoma upečatljivo ističe Laux [4] rečenicom "Nijedan sistem klimatizacije nije bolji od svog vazdušnog razvoda".

Za praktično ostvarivanje ovog zadatka vazdušne kanale treba projektovati tako da se smjeste u odgovarajući prostor, da imaju odgovarajući pad pritiska, brzinu, nivo buke kao i odgovarajuće toplotne dobitke, gubitke i nezaptivenost.

Od svih ovih zahtjeva koje treba obezbijediti projektom i izvedbom ovdje će se dimenzionisanje vazdušnih kanala tako izvršiti da bude zadovoljen uslov pada pritiska.

U osnovi postoje tri metode proračuna sistema vazdušnih kanala i u principu se mogu primjenjivati i za visokobrzinske i za niskobrzinske sisteme [5] i [6].

Preporučene brzine za pojedine sisteme se mogu očitati iz tabele 2.1 za niskobrzinske sisteme [6] i iz tabele 2.2 za visokobrzinske [5] . Za izvodjenje vazdušnih kanala se koriste standardni prečnici dati u tabeli 2.3.

Jedan od postupaka proračuna vazdušnih kanala je "Metod jednakog otpora". Kod ovog postupka se usvaja za najnepovoljniji vod (vod najvećeg otpora) konstantan jedinični otpor trenja i prema njemu se vrši dimenzionisanje. Ostali vodovi se dimenzionišu prema nekom drugom konstantnom jediničnom otporu koji treba da zadovolji raspoloživi pad pritiska. Ovaj postupak je veoma prikladan za proračun na digitalnim računskim mašinama, ali se ipak dosta rijetko primjenjuje zbog nedostataka kao što su velike brzine u kratkim vodovima (vodovima malog otpora) te zatim zbog različitog uticaja jediničnih otpora na ukupne otpore od čega dolazi do neravnomjerne distribucije pritiska u mreži, a time i do neravnomjernosti u raspodjeli protoka. Zadnji nedostatak se naročito manifestuje kod velikih brzina strujanja u kanalu gdje relativno manje odstupanje od optimalnog poprečnog presjeka kanala kod većih razlika pritiska može dovesti do znatnih promjena protoka.

Naredni postupak proračuna je "Metod"priraštaja" statističkog pritiska". Kod ovog postupka se održava konstantan statički pritisak u glavnom kanalu. Ovo se postiže opadanjem brzine duž kanala tj. pretvaranjem kinetičke energije u energiju pritiska čime se pokrivaju gubici pritiska u kanalu. Ovakav postupak proračuna će

Tabela 2.1

Preporučene maksimalne brzine u vazdušnim kanalima za niskobrzinske sisteme [m/s]

PRIMJENA	kontrolišući faktor – generisanje buke glavni kanali	Kontrolišući faktor - trenje kanala			
		Glavni kanali		Ogranci	
		Dovod	Povrat	Dovod	Povrat
Kuće za stanovanje	3,5	5,5	4,5	3	3
Stanovi ; Hotelske sobe; Bolničke sobe	5,5	8,5	7	6,5	5,5
Biroi ; Direktorske sobe; Biblioteke	6,5	11	8,5	9	6,5
Pozorišta ; Auditorijumi	4,5	7	6	5,5	4,5
Veći uredi ; Restorani visokog komfora ; Prodavnice visokog komfora ; Banke	8,5	11	8,5	9	6,5
Obične radnje ; Ekspres restorani	10	11	8,5	9	6,5
Industrija	14	16,5	10	12	8,5

Tabela 2.2

Preporučene maksimalne brzine vazduha u kanalima visokobrzinskih sistema

Protok vazduha u kanalu [m^3/h]	Maksimalna brzina [m/s]
2000 do 5000	14
5000 do 10000	16,5
10000 do 17000	19,5
17000 do 25500	22
25500 do 29000	25
29000 do 68000	28
68000 do 100000	33

Tabela 2.3

Standardni prečnici

Prečnik		Obim	Nazivni otvor
u colima	u mm	u mm	
3	76,2	239,4	75
3 1/2	88,9	279,3	90
4	101,6	319,2	100
4 1/2	114,3	359,1	110
5	127,0	399,0	125
6	152,4	478,8	150
7	177,8	558,6	175
8	203,2	638,4	200
9	228,6	718,2	225
10	254,0	798,0	250
11	279,4	877,8	280
12	304,8	957,6	300
14	355,6	1117,2	350
16	406,4	1276,7	400
18	457,2	1436,3	450
20	508,0	1595,9	500
22	558,8	1755,5	550
24	609,6	1915,1	600
26	660,4	2074,7	650
28	711,2	2234,3	700
30	762,0	2393,9	750
32	812,8	2553,5	800
36	914,4	2872,7	900
40	1016,0	3191,9	1000
44	1117,6	3511,1	1120
48	1219,2	3830,2	1220

dati dobre rezultate sve dok se gubitak statičkog pritiska poklapa sa gubitkom u ukupnom pritisku. Do neslaganja dolazi kod odvajanja struje od kanala preko ogranaka. Ukoliko se kod konstantnog statičkog pritiska u glavnom kanalu odvajanja vrše sa

istim padom statičkog pritiska to će uz iste poprečne presjeke biti iste i količine vazduha. Ovo se može postići samo kod odvajanja pod pravim uglom sa oštrim ivicama (T-račva) tj. tamo gdje se gubitak na odvojku može dati preko

$$\zeta_T = 1 + \text{Konst} \left(\frac{\omega_o}{\omega} \right)^2$$

gde je: ω_o = brzina u odvojku

ω = brzina u kanalu prije odvojka

Za ovaj slučaj statički pad pritiska na odvojku se odredjuje prema izrazu koji ne ovisi od brzine u kanalu [4] .

$$\Delta P_{stat} = (1 + \text{Konst}) \frac{\rho}{2} \omega_o^2$$

Nedostatak metode jednakog statičkog pritiska je ograničenost na primjenu pravouglih odvojaka sa ravnim ivicama koji imaju velike gubitke pritiska.

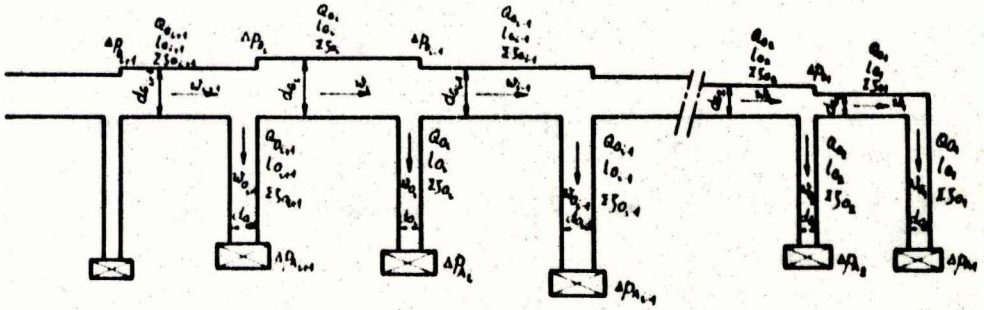
Kod vazdušnih kanala visokog pritiska gdje se pojavljuju velike brzine potrebno je odvajanja izvoditi i pod kosim uglom da bi se smanjili gubici pritiska. Da bi se obuhvatili i ovi slučajevi, izbjegli nedostaci "Metode jednakog otpora" te izvršila distribucija pritisaka bez mjesta za prigušivanja usvojen je postupak proračuna prema Laux-u [4] . Ovaj postupak je pripremljen za digitalne računske mašine a zasniva se na činjenici da se dimenzionisanje kanala neposredno prije odvojka vrši tako da ukupni pad pritiska u odvojku odgovara ukupnom padu pritiska u razdjelnom kanalu. Kod ovog postupka proračun počinje od zadnjeg odvojka. Prečnici odvojaka se daju kao ulazni podaci u ovisnosti od željene brzine u odvojku, a ugao odvajanja se daje preko podataka za koeficijente a, b i c [4].

3. Metod proračuna prema Laux-u

Na sl. 3.1 šematski je predstavljen razdjelni kanal sa odvojcima, gdje pojedine oznake predstavljaju

Q - protok vazduha u dionici

l - dužina dionice



Sl. 3.1 Šema razdjelnog kanala sa odvojcima

$\Sigma \zeta$ - suma mjesnih otpora u dionici

ω - brzina u dionici razdjelnog kanala

ω_o - brzina u odvojku

Δp_A - pad pritiska u indukcionom aparatu

d - unutrašnji prečnik dionice

Δp_D - pad pritiska u "difuzoru".

Indeks "G" odnosi se na dionice u razdjelnom kanalu (grane), a indeks "0" na odvojke.

Metod Laux-a je metod pada ukupnog pritiska pri čemu treba biti zadovoljen uslov da padovi ukupnog pritiska od bilo koje tačke u razdjelnom kanalu pa do bilo kog izlaza iz indukcionog aparata iza posmatrane tačke budu isti. Ovaj uslov za bilo koja dva susjedna ogranka može se matematski izraziti na sljedeći način:

$$\Delta p_{D_{i-1}} + \Delta p_{G_{i-1}} + \Delta p_{S_{i-1}} + \Delta p_{0_{i-1}} + \Delta p_{A_{i-1}} = \Delta p_{S_i} + \Delta p_{0_i} + \Delta p_{A_i} \qquad (3.1)$$

gde je:

- $\Delta p_G = \left(\lambda \frac{l_G}{d_G} + \sum \zeta_G\right) \rho \frac{\omega^2}{2}$ - ukupan gubitak pritiska u grani

Koeficijent trenja λ odredjuje se prema [3].

- ρ - specifična masa vazduha

- $\Delta p_0 = \left(\lambda \frac{l_0}{d_0} + \sum \zeta_0\right) \rho \frac{\omega^2}{2}$ - ukupan gubitak pritiska u ogranku

- $\Delta p_S = \left[a + b\left(\frac{\omega_0}{\omega} + c\right)^2\right] \rho \frac{\omega^2}{2}$ - gubitak usljed skretanja struje

iz razdjelnog kanala u ogranak. Koeficijenti a, b i c ovise od ugla pod kojim se vrši odvajanje i prema [4] je: za 90° a = 1, b = 0,5 i c = 6; za 60°

a = 0,774, b = 0,76 i c = - 0,8 te za 45° a = 0,4,

b = 1 i c = - 0,81

- $\Delta p_{D_{i-1}} = \zeta_D \frac{\rho}{2} (\omega_i^2 - \omega_{i-1}^2)$ - gubitak u difuzoru

Za praktičnu upotrebu dovoljno tačne vrijednosti gubitka u difuzoru se dobijaju sa

$$\zeta_D = 0,1 \ [4] .$$

Ako u izrazu (3.1) obilježimo

$$\Delta p_{U_{i-1}} = \Delta p_{S_{i-1}} + \Delta p_{0_{i-1}} + \Delta p_{A_{i-1}}$$

kao pad ukupnog pritiska nakon grane "i-1" do izlaza iz bilo kog aparata te ako se za veličine $\Delta p_{D_{i-1}}$ i Δp_{S_i} uvrste odgovarajući izrazi dobije se

$$0,1 \frac{\rho}{2} (\omega_i^2 - \omega_{i-1}^2) + \Delta p_{G_{i-1}} + \Delta p_{U_{i-1}} =$$

$$\left[a + b \left(\frac{\omega_{o_i}}{\omega_i} + c \right)^2 \right] \rho \frac{\omega_i^2}{2} + \Delta p_{0_i} + \Delta p_{A_i} \qquad (3.1a)$$

Sredjivanjem jednačine (3.1a) dobije se kvadratna jednačina oblika

$$\omega_i^2 + \frac{2 \cdot b \cdot c \cdot \omega_{o_i}}{a + bc^2 - 0,1} \omega_i -$$

$$- \frac{\frac{2}{\rho} (\Delta p_{U_{i-1}} + \Delta p_{G_{i-1}} - \Delta p_{0_i} - \Delta p_{A_i}) - b \cdot \omega_{o_i}^2 - 0,1 \cdot \omega_{i-1}^2}{a + b \cdot c^2 - 0,1} = 0$$

Rješenje kvadratne jednačine je

$$\omega_i = - \varphi + \sqrt{\varphi^2 + \psi} \qquad (3.2)$$

gdje je

$$\varphi = \frac{b \cdot c \cdot \omega_{o_i}}{a + b \cdot c^2 - 0,1} \qquad (3.3)$$

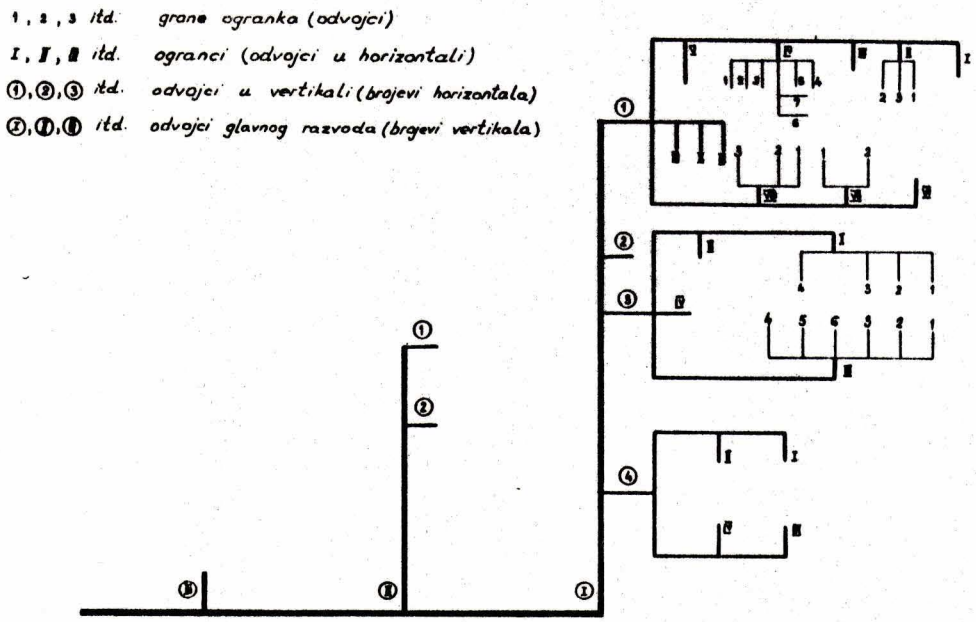
$$\psi = \frac{\frac{2}{\rho} (\Delta p_{U_{i-1}} + \Delta p_{G_{i-1}} - \Delta p_{0_i} - \Delta p_{A_i}) - b \cdot \omega_{o_i}^2 - 0,1 \cdot \omega_{i-1}^2}{a + b \cdot c^2 - 0,1} \qquad (3.4)$$

Pošto se kod Laux-ove metode proračun vrši počev od zadnjeg ogranka to su u izrazu (3.2) poznate sve veličine te se nakon odredjivanja brzine odredjuje prečnik grane prema izrazu

$$d_{G_i} = \sqrt{\frac{4 Q_{G_i}}{\pi \cdot \omega_i}} \qquad (3.5)$$

4. Program

Da bi se program mogao koristiti za različite izvedbe kanalskog razvoda formirana je opšta šema (sl. 4. 1) prema kojoj je izradjen program. Opšta šema kanalskog razvoda je formirana na osnovu izvedenih kanalskih razvoda tako da može obuhvatiti sve razmatrane izvedbe grananja



Sl. 4. 1 Opšta šema kanalskog razvoda

Obilježavanje grananja na opštoj šemi je izvršeno u skladu sa postupkom rada u programu.

Proračun počinje od posljednje horizontale u najudaljenijoj vertikali. Prvo se računaju svi ogranci u horizontali. Ukoliko se ogranak razdvaja računa se dio sa najviše odvojaka. Ostali dijelovi ogranka se računaju tako da ukupan pad pritiska u njima odgovara padu pritiska u dijelu sa najviše odvojaka. Nakon završenog proračuna svih ogranaka računa se sama horizontala istim postupkom. Postupak se ponavlja za sve horizontale u vertikali. Proračun vertikale se vrši poslije završenog proračuna horizontale.

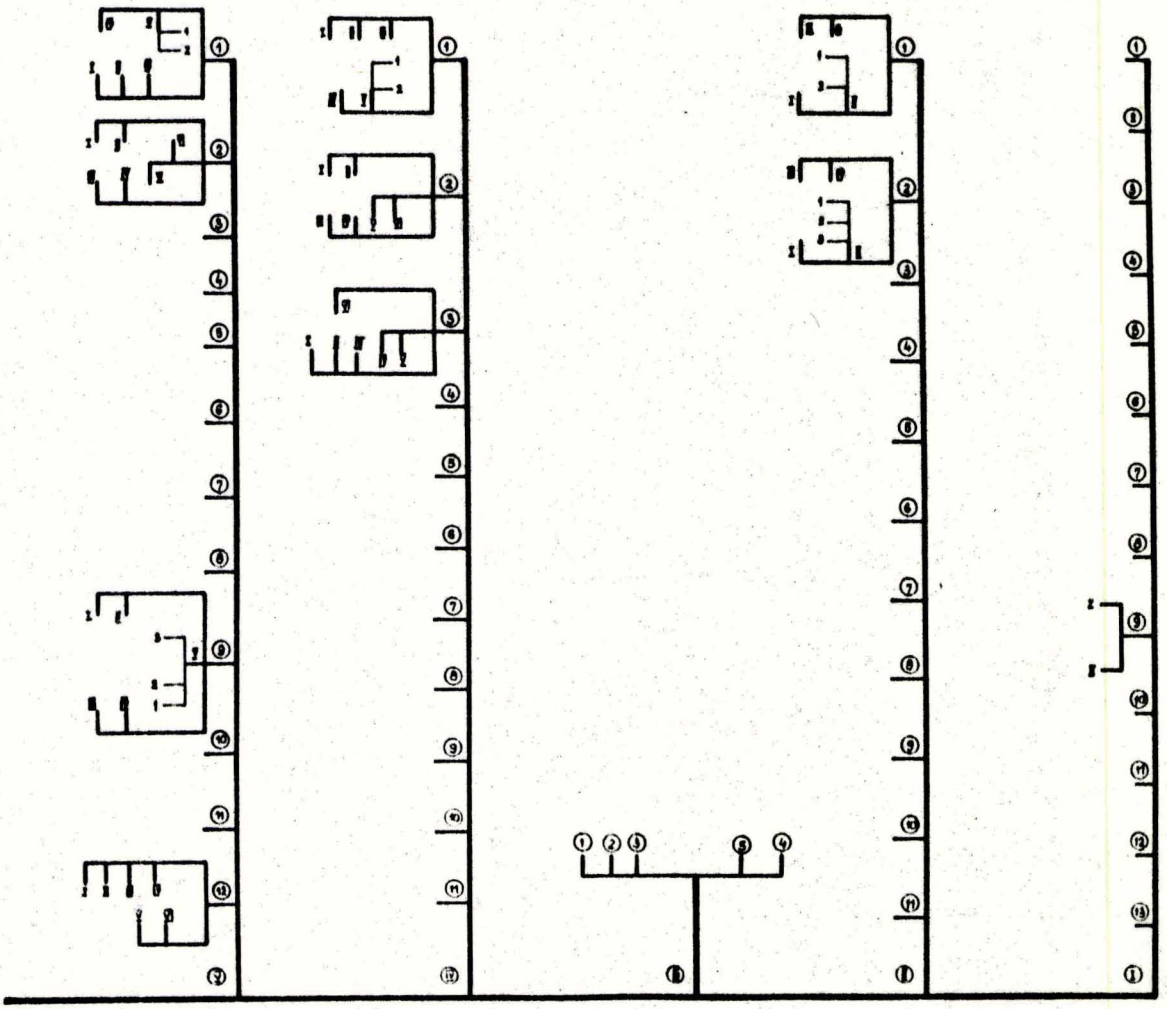
Na isti način se računaju i ostale vertikale, a na kraju se računa glavni razvod.

Cjelokupan proračun se zasniva na metodi jednakog ukupnog pada pritiska.

U primjeru navedenom u [4] Laux ne računa posljednji odvojak. Na osnovu proračuna nekoliko primjera je utvrdjeno da vrijednost Ψ (jedn. 3.4) može biti negativna što prouzrokuje nerealne vrijednosti brzine u drugoj grani. Programom je predvidjeno računanje i posljednjeg odvojka, a u slučaju da je Ψ negativna brzina u drugoj grani se usvaja tako da padovi pritisaka u prvom i drugom odvojku budu što bliži.

Primjena programa za proračun kanalskih razvoda je pokazana na primjeru jedne

poslovne zgrade. Šema kanalskog razvoda je data na sl. 4.2., a dio rezultata dobijenih proračunom na digitalnoj računskoj mašini GAMMA 30 je prikazan u tabeli



Sl. 4.2 Šema kanalskog razvoda jedne poslovne zgrade

4.1. Iz tabele se vidi da su izlazni podaci protok, dužina, unutrašnji prečnik i suma koeficijenata mjesnih otpora za odvojke i grane. U koloni pad pritiska za granu je dat ukupan pad pritiska od početka te grane do izlaza iz indukcionog aparata.

Brzine dobijene jednačinom (3.2), koje su uslov za ostvarivanje jednakog pada ukupnog pritiska, se u opštem slučaju ne mogu ostvariti zbog primjene standardnih prečnika.

Primjena standardnih prečnika umjesto odredjenih jednačinom (3.5) prouzrokuje izvjesna odstupanja ukupnog pada pritiska u odvojcima. Ova odstupanja su data u koloni "pad pritiska" za odvojke, a mogu se izbjeći regulisanjem pada pritiska indukcionog aparata, izborom odvojka sa drugim uglom skretanja ili promjenom prečnika odvojka.

Tabela 4.1

	Red. br.	Protok M3/H	Dužina M	Unutrašnji prečnik MM	Brzina M/S	Suma KSI	Pad pritiska MM VS
				HORIZONTALA 2			
				OGRANAK 2			
OD.	1	50.	2.8	76.2	3.04	.54	.000
GR.		50.	.0	76.2	3.04	.00	30.961
OD.	2	50.	1.4	76.2	3.04	.27	- .501
GR.		100.	.5	101.6	3.42	.00	31.070
OD.	3	110.	1.4	101.6	3.76	.27	- .540
GR.		210.	1.2	152.4	3.19	.00	31.197
				HORIZONTALA 2			
OD.	1	110.	6.0	101.6	3.76	.54	.000
GR.		110.	.0	101.6	3.76	.00	31.894
OD.	2	210.	1.2	152.4	3.19	.00	- .386
GR.		320.	.8	177.8	3.57	1.50	33.141
OD.	3	110.	5.3	101.6	3.76	.54	.000
GR.		110.	.0	101.6	3.76	.00	31.738
OD.	4	110.	2.5	101.6	3.76	.27	- .193
GR.		220.	2.1	152.4	3.34	1.50	32.996
		PRIGUŠENJE SA DESNE STRANE				.145	MM VS
		PRIGUŠENJE U PRAVCU				.145	MM VS
				VERTIKALA 2			
OD.	1	800.	7.3	177.8	8.93	.27	.000
GR.		800.	.0	177.8	8.93	.00	42.250
OD.	2	540.	4.0	152.4	8.20	.00	- .339
GR.		1340.	3.3	228.6	9.05	.00	43.762
OD.	3	550.	4.0	152.4	8.35	.00	1.476
GR.		1890.	3.3	279.4	8.54	.00	44.858
OD.	4	550.	4.0	152.4	8.35	.00	1.789
GR.		2440.	3.3	304.8	9.27	.00	46.184
OD.	5	550.	4.0	152.4	8.35	.00	.501
GR.		2990.	3.3	304.8	11.35	.00	47.941
OD.	6	550.	4.0	152.4	8.35	.00	4.163
GR.		3540.	3.3	355.6	9.88	.00	49.126
OD.	7	540.	4.0	152.4	8.20	.00	3.640
GR.		4080.	3.3	355.6	11.38	.00	50.650
OD.	8	550.	4.0	152.4	8.35	.00	2.665
GR.		4630.	3.3	355.6	12.92	.00	52.557
OD.	9	550.	4.0	152.4	8.35	.00	2.022
GR.		5180.	3.5	355.6	14.45	.00	55.013
OD.	10	550.	4.0	152.4	8.35	.00	1.643
OR.		5730.	3.5	355.6	15.99	.00	57.921
OD.	11	480.	4.0	152.4	7.29	.00	2.918
GR.		6210.	3.0	355.6	17.33	.54	70.399

Dimenzije pojedinih veličina su date u tabeli 4.1.
Ulazni podaci za proračun su protoci, dužine i sume koeficijenata mjesnih otpora odvojaka i grana i prečnici odnosno brzine u odvojcima i padovi pritisaka u indukcionim aparatima. Vrijeme proračuna kanalskog razvoda zavisi od broja odvojaka i digitalne računske mašine na kojoj se vrši proračun. Proračun navedenog primjera na digitalnoj računskoj mašini GAMMA 30 (koja spada u stariju generaciju digitalnih računara) je trajao 22 min. Iz navedenog se može, dakle, zaključiti koliko se, pored ostalih prednosti, skraćuje vrijeme proračuna kanalskih razvoda primjenom digitalnih računskih mašina.

Literatura

[1] BOEKE A.W., New Developments in the computer-design of air-canditioning systems, J.I.H.V.E., N°10, 1967, s. 195-211.

[2] KULIĆ E., LEKIĆ A., BAJRAMOVIĆ R., Dimenzionisanje, proračun pada pritiska i toplotnih gubitaka kod pumpnog grijanja i toplodalekovoda gradskih naselja na digitalnim računskim mašinama, Energoinvest-ITEN, 1972.

[3] LAUX H., Kanalnetzberechnung für Hochdruch-Klimaanlagen Gesundheits-Ingenieur 88/1967/ N°1, S. 1.-13.

[4] ASHRAE Handbook of Fundamentals, ASHRAE 1972.

[5] Carrier: Handbook of Air Conditioning System design, Mc Graw Hill, 1965.