

UDK: 621.36

## FREKVENTNA REGULACIJA RADA VENTILATORA KAO MERA POVEĆANJA ENERGETSKE EFIKASNOSTI SISTEMA PROIZVODNE HALE FARME TOVA PILIĆA

Ivan Zlatanović\*, Nedžad Rudonja\*\*, Kosta Gligorević\*

\*Univerzitet u Beogradu Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6, Zemun

\*\* Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, Beograd

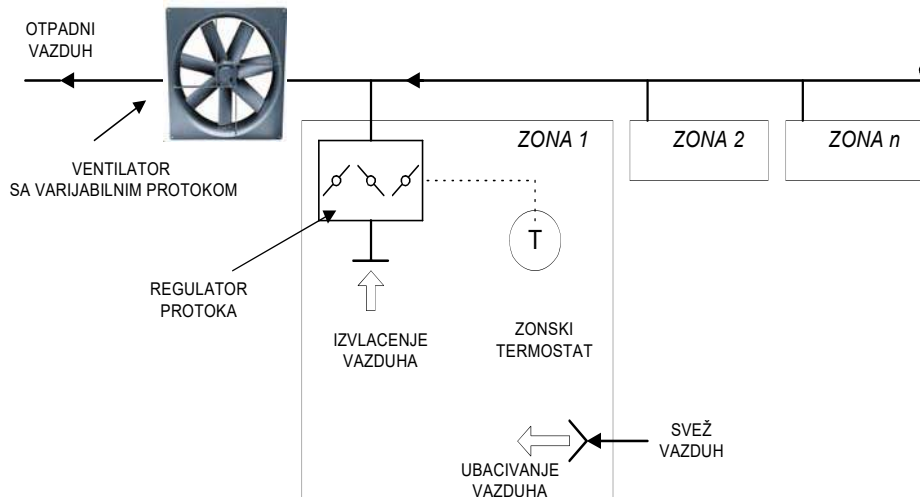
**Sadržaj:** U proteklih nekoliko godina je primetna sve češća primena sistema ventilacije koji rade sa promenljivim protokom fluida. Pristupačnost, jednostavnost i isplativost ugrađivanja opreme za frekventnu regulaciju ventilatora doprinela je povećanju energetske efikasnosti sistema ventilacije i njihovoj tehno-ekonomskoj isplativosti. U ovom radu je data paralela između dosad korišćenih konvencionalnih sistema i sistema sa promenljivim protokom. Takođe je analiziran način i mogućnosti prelaska starijih sistema na novi način regulacije u skladu sa trendovima, a opet uz minimiziranje troškova adaptacije. Energetska efikasnost sistema ventilacije primenom frekventno regulisanih komponenti sistema često biva sastavni deo projektnog zadatka i pretenduje da postane jedan od bitnijih standarda u projektovanju termotehničkih sistema i instalacija.

**Ključne reči:** Frekvencija, regulacija, ventilacija, ventilator, energija, efikasnost.

### 1. UVOD

Ventilacioni sistemi mogu pokrивati i više zona pri čemu svaka zona može imati različite unutrašnje parametre temperature, vlažnosti, i slično. U zavisnosti od trenutnog toplotnog opterećenja ventilisanog prostora (zone), a pomoću regulatora protoka vazduha koji se odovodi iz tog prostora, vođenog odgovarajućim signalom (najčešće zonskog-sobnog termostata ili senzora povišene koncentracije nekog gasa), može se podesiti da u prostor dospe (prestruji) dovoljna količina svežeg vazduha neophodna za eliminisanje toplotnog opterećenja ili smanjenje koncentracije senzorom praćenog gasa (Slika 1). Ukupna količina dovedenog i odvedenog vazduha će tako varirati u toku vremena u zavisnosti od konkretne potrebe. U normalnim uslovima rada ova smanjena potreba za protokom dovešće do smanjenja potrebe za snagom ventilatora, odnosno uštede koja se može postići regulisanjem rada ventilatora. Obzirom na to da će manji protok, odnosno manje

brzine strujanja vazduha kroz kanalsku mrežu dovesti i do smanjenja pada pritiska koji ventilator treba da savlada, u praksi se često primenjuju tzv. “booster“ ventilatori. Ovi ventilatori se ugrađuju na grane sa najvećim padom pritiska kao podrška glavnom pogonskom ventilatoru, čime se izbegava da glavni ventilator bude predimenzionisan.



Slika 1. Šematski prikaz komponenti sistema ventilacije sa varijabilnim protokom

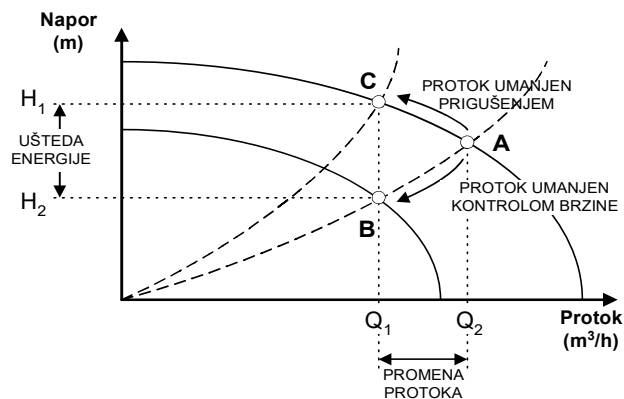
Regulisati protok vazduha u sistemu znači regulisati rad motora ventilatora na taj način da brzina obrtanja bude varijabilna i podesiva (ili nekim signalom vođena) prema konkretnoj potrebi.

## 2. REGULACIJA PROTOKA FREKVENTNOM KONTROLOM VENTILATORA

Pored velikih ušteda u potrošnji energije postoje i druge prednosti korišćenja ventilatora sa regulisanom brzinom:

- lagodan start motora, fino ubrzavanje i usporavanje motora;
- nema ekstremnih vrednosti napona struje pri radu sistema;
- energetska ušteda je primetna (Slika 2), obzirom na to da se snaga/potrošnja energije menja sa trećim stepenom brzine;
- brzina se može kontrolisati prema konkretnoj potrebi;
- automatizacija čitavog procesa je moguća, tako da je moguće ostvariti preciznu regulaciju protoka, pritiska, itd.

Regulacija brzine se može ostvariti na više načina (Tabela 1), a jedna od najefikasnijih metoda je varijacija napona struje kontrolom frekvence (Slika 3).



Slika 2. Prikaz ostvarene uštede na dijagramu karakteristika jednog centrifugalnog ventilatora

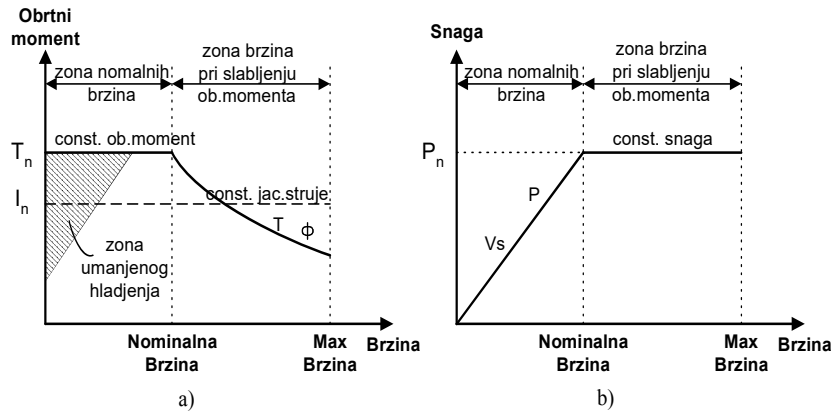
Tabela 1. Klasifikacija metoda kontrola brzine

Mehanička kontrola brzine	-remeni i lančani prenos sa podesivim veličinama prečnika -frikcioni prenosnici
Hidraulička kontrola brzine	-hidrodinamički tip -hidrostatički tip
Električna kontrola brzine	-kontrola položaja četkica (Scharge motor) -Ward-Leonard sistem sa generatorom -varijacija napona jednosmerne struje kod motora sa jednosmernom strujom -varijacija napona struje kontrolom frekvence -klizna kontrola napona -ciklo-konverter kontrola -elektromagnetno uparavanje (kontrola) -servo-upravljanje



Slika 3. Šema komponenata za regulaciju brzine

Kontrola sinhronne brzine motora se u zavisnosti od broja polova motora može ostvariti menjanjem frekvence. U slučaju da želimo umanjiti brzinu u odnosu na njenu nominalnu vrednost, smanjivaćemo frekvencu ali tako da odnos napona i frekvence bude konstantan kako bi se izbeglo preopterećenje motora. U ovom slučaju će motor bez problema moći da savlada zahtevane napore (obrtne momente) i za manje vrednosti brzina. U oblasti zone normalnih brzina izlazna snaga motora će biti proporcionalna brzini. Međutim, ukoliko želimo veće brzine, tj. povećavamo frekvencu iznad nominalne vrednosti, zalazimo u zonu rada motora u kojoj će motor ostvariti željenu brzinu ali će njegova mogućnost savladavanja određenog napora biti umanjena (Slika 4a). U ovoj oblasti rada motora izlazna snaga motora ostaje konstantna sa promenom brzine (Slika 4b).



Slika 4. Promena obrtnog momenta i snage AC motora u različitom opsegu brzina

Najčešći vid hlađenja motora je vazdušno prinudno hlađenje ostvareno ugradnjom lopatica za prinudno strujanje vazduha na samoj osovinu motora neposredno uz motor. Lopatice se okreću zajedno sa vratilom prilikom rada motora pospešujući strujanje vazduha. Zbog toga kod motora sa regulisanom brzinom mora da se vodi računa o minimalnoj brzini (zona umanjenog hlađenja - Slika 4a) obrtanja osovine motora kako bi hlađenje motora pravilno funkcionisalo.

Proizvođači motora i kovertera frekvenci razvili su različite metode izbora opreme u zavisnosti od opterećenja. Postojanje raznih tipova nomograma dosta olakšava izbor opreme ali najčešće se konačna odluka donosi uz poštovanje nekoliko osnovnih principa:

- 1) Specificirati na početku opseg rada komponenti (napon i frekvencu rada, startni obrtni moment, karakteristiku ob.moment-brzina, raspon brzina koje se žele postići, periode ubrzavanja/usporavanja, momente inercije motora);
- 2) Odrediti željeni broj polova motora (najčešće prema maksimalnoj brzini koja se želi postići);
- 3) Utvrditi željenu snagu motora (na osnovu obrtnog momenta i brzine);
- 4) Odabrati odgovarajući konverter frekvence (da poseduje mogućnosti varijacije frekvence i održavanja konstantnih zadatih vrednosti);

Za razliku od motora koji su u zavisnosti od klase zaštite otporni na razne vidove spoljnih uticaja (vlaga, prašina, itd.) konverteri su osetljive komponente koje trebaju biti smeštene u okruženju bez prašine i abrazivnih materijala, daleko od korozivnih ili zapaljivih gasova i tečnosti, kao i van prostora sa visokom vlažnošću vazduha.

### 3. KRITERIJUMI ZA DIMENZIONISANJE SISTEMA VENTILACIJE PROIZVODNE HALE FARME TOVA PILIĆA

Za sve prostore, unutrašnji projektni parametri definisani su tehnologijom tova, uzrastom jata, minimalno potrebnim količinama svežeg vazduha, brzinom vazduha, kvalitetom vazduha i nivoom buke unutar prostora.

Tabela 2. Uticaj temperature prostora u hali na jedinke tova

12° do 24°C	Opseg temperatura u kojima jedinkama ne pada na teret da sopstvenim metabolizmom regulišu telesnu temperaturu.
18° do 24°C	Idealni opseg temperature, tzv. termoneutralna ili zona komfora.
24° do 29°C	Opseg temperatura u kome se može primetiti smanjena potrošnja hrane ali još uvek ne sa negativnim uticajem.
29° do 32°C	Opseg temperatura u kome bi trebalo reagovati pokretanjem sistema za rashlađivanje vazduha u prostoriji.
32° do 35°C	Opseg temperatura lošeg komfora za jedinke koji se mora sprečiti rashlađivanjem ambijenta.
35° do 38°C	Opseg temperatura koje štetno deluju na tov u slučaju dužeg izlaganja, a u slučaju kvara sistema hlađenja povećati količinu vode za piće.
preko 38°C	Preduzeti hitne mere rashlađivanja prostora kako se opstanak jedinki ne bi ugrozio!

Da bi se postigli maksimalni rezultati tova, temperatura mora konstantno da se održava u okviru tzv. termoneutralne ili zone komfora pilića, pri čemu treba održavati uniformnost temperature duž celog objekta. Termoneutralna zona se menja kako pilići rastu, a na nju utiču:

- Telesna težina
- Ventilacije (brzina vazduha)
- Unos hrane
- Relativna vlaga
- Ambijentalna temperatura

Sa povećanjem relativne vlažnosti, smanjuje se sposobnost pilića da odagnaju toplotu kroz isparavanje. Visoka relativna vlažnost u kombinaciji sa visokom ambijentalnom temperaturom (na primer 32°C, 90% RH) je posebno problematična. Kako pilići stare tako i ovaj efekat postaje lošiji. Bez adekvatnog gubitka toplote biće ugrožena i sposobnost pilića da kontrolišu svoju unutrašnju telesnu temperaturu i normalne telesne funkcije.

Definisanje kapaciteta ventilacionog sistema može se uraditi pomoću četiri ventilaciona kriterijuma K1-K4, koji su opisani u nastavku.

#### K1. Preporučeni Minimalni Obrok Vazduha po jedinici mase pileta (MOV)

Prvi kriterijum je preporučena minimalna količina vazduha prema telesnoj masi pilića. Obzirom na to da vremenom masa pilića varira i ova količina vazduha će varirati. Ovu količinu vazduha je neophodno ostvariti zbog potrebe pilića za kiseonikom. Gustina smeštaja jedinki određuje ukupan broj jedinki i najčešće iznosi 14 kom/m<sup>2</sup>.

Telesna masa	Preporučeni protok vazduha po kilogramu telesne mase
0,3 do 2,3 kg	1,7 m <sup>3</sup> /h
2,3 do 5,6 kg	1,4 m <sup>3</sup> /h
5,6 do 11,2 kg	1,2 m <sup>3</sup> /h

***K2. Preporučeni Broj Izmjena Vazduha u prostoriji (BIV)***

Drugi kriterijum je preporučen broj izmena vazduha u prostoriji u letnjem periodu. Potrebna izmena vazduha definisana je samom zapreminom ventilisane prostorije koja se može odrediti na osnovu njenih osnovnih dimenzija.

Preporučuje se od 0,75 do 1,3 izmena vazduha prostorije u minuti vremena, odnosno u proseku 60 izmena/čas.

***K3. Preporučena Brzina Strujanja u Zoni pilića (BSZ)***

Treći kriterijum je preporučena brzina strujanja duž pilića. Strujanje vazduha se najčešće ostvaruje u pravcu postavljanja linija hranjenja, što je i ovde slučaj, tako da je površina poprečnog preseka prostorije upravna na pravac linije hranjenja i merodavna za određivanje brzine strujanja. Mali pilići su osetljivi na promaju tako da i mala brzina vazduha kao što je 0,5 m/s može izazvati značajan efekat rashlađivanja kod na primer jednodnevnih pilića.

Starost pilića	Maksimalna dozvoljena brzina vazduha, m/s
0-14 dana	Miran vazduh
15-21 dan	0,5
22-28 dana	0,875
28 dana +	1,75-2,5

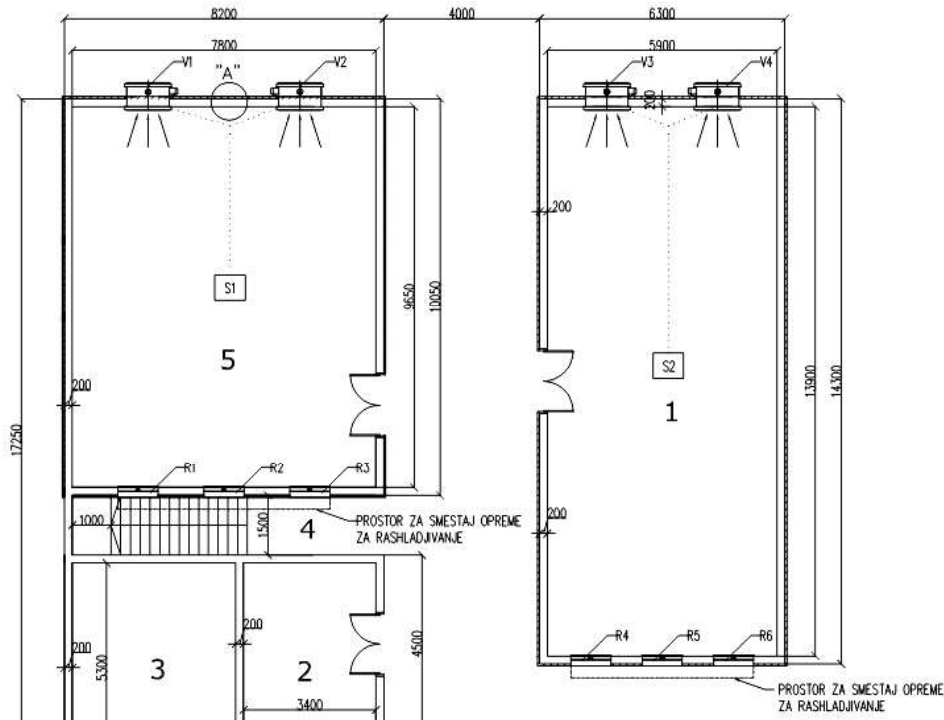
***K4. Pokrivanje Toplotnog Opterećenja (TO)***

Protok vazduha neophodan za eliminisanje toplotnog opterećenja objekta. Preporuke vezane za toplotni fluks kroz spoljašnje pregrade (omotač prostorije) moraju biti ispoštovane, naročito za krovnu konstrukciju gde se ne preporučuje veći specifični toplotni fluks od 85 W/m<sup>2</sup>.

Tabela 3. Dobijeni rezultati i usvojene vrednosti su prikazane u sledećoj tabeli po halama.

Prostorija		Hala tov 1	Hala tov 2
Površina	m <sup>2</sup>	90,1	78,39
Visina prostorije	m	2	2
Zapremina	m <sup>3</sup>	180,2	156,78
Poprečni presek prostorije	m <sup>2</sup>	11,8	15,6
Gustina naseljenosti	kom/m <sup>2</sup>	14	14
Broj pilića	kom	1262	1098
Prosečna masa	kg	2	2
MOV	m <sup>3</sup> /h/kg	1,7	1,7
BIV	izmena/h	60	60
BSZ	m/s	0,5-2	0,5-2
TO	W	11261	10411
K1 – protok vazduha	m <sup>3</sup> /h	4290	3734
K2 – protok vazduha	m <sup>3</sup> /h	10812	9407
K3 – protok vazduha	m <sup>3</sup> /h	21240-84960	28080-112320
K4 – protok vazduha	m <sup>3</sup> /h	648	599

U tabeli 3 proračunate su vrednosti za dve hale za tov pilića približno istih površina ali različite geometrije i orijentacije. Koncept ventilacije je tunelski tip (slika 5).



Slika 5. Osnova objekta sa prikazom hala za tov pilića (Hala 1 – prostorija 1, i Hala 2 – prostorija 5) i ventilatorima V1, V2, V3 i V4 u sistemu ventilacije tunelskog tipa.

Implementaciju opreme za regulaciju i adaptaciju postojećih sistema klimatizacije i ventilacije moguće je ostvariti ugradnjom motora sa varijabilnim brojem obrtaja na već postojeće ventilatore.

Na primer, ako ventilator snage 17 kW koji radi u režimu 36.000 m<sup>3</sup>/h i 1,12 kPa želimo regulisati tako da može postići režim 18.000 m<sup>3</sup>/h i 0,7 kPa, dovoljna snaga u regulisanom režimu rada biće 5,3 kW. Ovim se na 4015 časova rada, koliko bi na primer ventilator radio u novom režimu, pri ceni električne energije od 0,05 EUR/kWh uštedi 2.353 EUR godišnje. Procenjena cena jedne takve investicije (ugradnje i adaptacije) bila bi oko 12.000 EUR, što znači da bi period otplate ove investicije iznosio približno 5 godina.

#### 4. ZAKLJUČAK

Veliki tehničko-tehnološki napredak u oblasti automatske regulacije poslednjih decenija uz sve rasprostranjeniju primenu mikroprocesorskih jedinica, doprineo je pouzdanosti regulisanja rada komponenata sistema klimatizacije i kontroli samog procesa čime su minimizirani gubici u energiji i troškovi eksploatacije.

Ventilacioni sistemi velikih objekata su dobro mesto za implementaciju savremenijih metoda regulacije jer su kod ovih sistema dugoročno gledano uštede značajne. Međutim, pre donošenja konačne odluke potrebno je u potpunosti analizirati opravdanost jednog ovakvog načina regulacije na datom objektu (sistemu).

Energetska efikasnost sistema klimatizacije u industrijskim i proizvodnim objektima primenom frekventno regulisanih komponenti sistema često biva sastavni deo projektnog zadatka i pretenduje da postane jedan od bitnijih standarda u projektovanju termotehničkih sistema i instalacija.

### LITERATURA

- [1] Barnes M.: Practical variable speed drive and power electronics, Elsevier, Great Britain, 2003.
- [2] Department of energy, mines and resources Canada: Energy management series for industry commerce and institutions, Book 13 – Fans and pumps, Canada
- [3] Digital engineering library: HVAC Systems Design Handbook, McGraw-Hill, 2004.
- [4] ASHRAE Handbook: 2000 HVAC Systems and equipment, Chapter S40 – Motors, Controls, & Variable-Speed Drives, 2000.
- [5] Cobb-Vantress Inc: Vodič za tov brojlera, 2004.
- [6] Zlatanović, I.: Idejni projekat mašinskih instalacija za ventilaciju proizvodnih hala farme tova pilića u Selu Rgošte kod Knjaževca, 2009.

### CHICKEN FATLING PRODUCTION HALL VENTILATION SYSTEM ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT WITH VARIABLE FREQUENCY CONTROL FOR FANS

**Ivan Zlatanović\*, Nedžad Rudonja\*\*, Kosta Gligorević\***

*\*University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Nemanjina 6, Zemun*

*\*\* University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Kraljice Marije 16,  
Belgrade*

**Abstract:** In past few years there were a notable number of ventilation systems applications working with variable air volume (VAV). Accessibility, simplicity and low-cost of frequency regulation equipment implementation in ventilation systems using fans is raising energy efficiency of ventilation systems and their providence. A parallel view between conventional and VAV systems is presented in this paper. Transformation of average conventional into VAV system with minimum cost of adaptation possibility is analyzed. Energy efficiency of ventilation systems in non-residential facilities achieved with frequency regulated components is being part of project assignment and pretends to become important standard in ventilation systems design methodology.

**Key words:** *Frequency, regulation, ventilation, fan, energy, efficiency.*