

# TERMIČKA MODERNIZACIJA POSTOJEĆIH VIŠESPRATNIH STAMBENIH ZGRADA U BEOGRADU

## THERMAL MODERNISATION OF EXISTING HIGH RESIDENTIAL BUILDINGS IN BELGRADE

**Radivoje BATINIĆ, dipl. inž. maš.**  
**Beograd, batinic.rade@gmail.com,**

*Fond višespratnih stambenih zgrada (VSSZ) u Beogradu sastoji se od oko 97% postojećih i oko 3% novih zgrada. Očigledno je da nije moguće smanjiti potrošnju toplote u ovim zgradama ako se ne izvrši termička modernizacija (TM) postojećih (VSSZ). U radu je opisano moguće smanjenje potrošnje toplote u postojećim VSSZ posle TM. Ako se TM omotača postojećih VSSZ uradi po „Pravilniku o energetskej efikasnosti zgrada”, Sl.Gl.RS. br. 72/09, 81/09 – ispravke 64/10 – US i 24/11, autor proračunom pokazuje da je moguće smanjiti ukupne gubitke toplote za oko 42%. Predlaže se, da se TM postojećih VSSZ realizuje u nekoliko etapa u zavisnosti od raspoloživih finansijskih sredstava.<sup>1</sup>*

*Ključne reči: termička modernizacija (TM); transmisioni gubici toplote; ventilacioni gubici toplote; omotač zgrada; sistemi grejanja i ventilacije; koeficijent prolaza toplote; ušteda toplote;*

*Currently the buildings stock of high residential buildings (HRB) in Belgrade consists of around 97% existing and around 3% new buildings. It is obvious that is not possible to reduce consumption of heat in the HRB without thermal modernization (TM) of existing buildings envelope and heating and ventilation systems. This paper provides a description of TM of existing HRB in Belgrade. It is possible to reduce total heat loss around 42%. If the TM of existing buildings envelope has been done according „Serbian Act about energy efficiency of buildings”. It is proposed to done TM in several steps depending on the modernization budget.*

*Key words: thermal modernization; transmission heat loss; ventilation (infiltration) heat loss; building envelope; heating and ventilation systems; coefficient of heat transfer; heat savings*

### I. Uvod

U ukupnom fondu višespratnih stambenih zgrada (VSSZ) u Beogradu više od 97% su postojeće zgrade. Većina ovih zgrada izgrađena je 80-ih i 90-ih godina 20. veka. Očigledno je da se planirano smanjenje potrošnje toplote u stambenom fondu VSSZ ne može ostvariti ako se ne izvrši termička modernizacija (TM) postojećih VSSZ. Pod pojmom TM podrazumeva se: TM omotača zgrada i TM sistema grejanja i ventilacije (SG i V). Maksimalno planirano smanjenje potrošnje toplote može se postići samo ako se izvrši kompletna TM, tj. TM SG i V i TM omotača zgrada. Za kompletnu TM potrebna su znatna finansijska sredstva, kojih nema. Zbog toga se predlaže da se TM vrši postepeno, tako da se prvo realizuju radovi koje manje koštaju, a daju parcijalna smanjenja potrošnje toplote i omogućuju da se uspešno realizuju sledeći radovi do konačnog završetka TM.

### II. Osnovne karakteristike omotača postojećih VSSZ

Osnovne karakteristike omotača VSSZ su:

- koeficijent prolaza toplote fasadnih zidova  $U_{wl} = 0,8 - 1,2 \frac{W}{m^2K}$  (procenjene vrednosti za sve zgrade),
- koeficijent prolaza toplote za prozore  $U_{wd} = 3,0 \frac{W}{m^2K}$  (procenjene vrednosti za sve zgrade),

<sup>1</sup> Ovim radom nije obuhvaćeno generisanje i distribucija toplote, već su samo obuhvaćeni sistemi grejanja i ventilacije u zgradama

- koeficijent ostakljenja fasada  $\beta = 0,25$  (procenjene vrednosti za sve zgrade),
- zaptivenost (hermetizacija) prozora i zidova nije u skladu sa normama (nedovoljna je),
- spoljne površine fasadnih zidova nisu pravilno hidrofobizirane, pa ovi zidovi nisu zaštićeni od uvlaženjenja usled dejstva kosih kiša (istovremeno duva jak vetar i pada jaka kiša).

### III. Osnovne karakteristike SG i V

Osnovne karakteristike SG i V su:

- sistemi grejanja su vodeni, pumpni, dvocevni sa projektnim temperaturama vode 90/70 °C, sa donjim razvodom magistralnih cevovoda razvodne i povratne vode i vertikalnim usponskim vodovima (štrangovima).
- cevna mreža sistema grejanja je izrađena od crnih bešavnih cevi dimenzija po DIN 2440 i DIN 2448
- grejna tela su liveni radijatori, sa radijatorskim ventilima, kojim praktično nije moguće regulisati(balansirati) protok vode na ulazu u radijatore.
- armatura koja je ugrađena u cevovod ne omogućuje statičko balansiranje i merenje protoka vode.
- Usled nejednakog dejstva gravitacionog napora vode na radijatore po spratovima u toku grejnog perioda, pojavljuje se vertikalno razbalansiranje SG. Pri vecim razlikama teperatura napojne i povratne vode, prostorije na visim spratovima se pregrevaju a prostorije na nizim imaju nizu temperaturu od projektovane(nedovoljno grejanje).
- u svakoj zgradi su ugrađene individualne toplotne podstanice (ITP) sa automatskom regulacijom temperature napojne vode u zavisnosti od spoljne temperature („kvalitativna” regulacija).
- termostatski ventili nisu ugrađeni na radijatorima (ne postoji individualna automatska regulacija).
- ventilacija zgrada je prirodna, nekontrolisana, sa povećanim ventilacionim gubicima toplote(zbog povecane infiltracije spoljasnjeg vazduha kroz procepe i montazne savove prozora)

### IV. Moguće smanjenje potrošnje toplote koje se može ostvariti kompletnom TM VSSZ

*Moguće smanjenje potrošnje toplote koje se može ostvariti TM omotača zgrada*

Ove uštede ostvaruju se smanjenjem transmisionih i ventilacionih gubitaka toplote.

#### 1) Smanjenje potrošnje toplote koje se može ostvariti smanjenjem transmisionih gubitaka toplote

Smanjenje potrošnje toplote koje se može ostvariti smanjenjem transmisionih gubitaka toplote može se proceniti po sledećoj jednačini[11]:

$$q_T = U_{wd} \cdot \beta + U_{wl} \cdot (1 - \beta) + \frac{U_R \cdot A_R \cdot F_{xi}}{A_F} + \frac{U_{Fl} \cdot A_{Fl} \cdot F_{xi}}{A_F} \quad (1)$$

gde su:

- $q_T$  - specifični transmisioni gubitak toplote sveden na 1 [m<sup>2</sup>] površine fasade i 1 [K] razlike temperatura,  $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$ ;
- $U_{wd}, U_{wl}, U_R, U_{Fl}$  - koeficijenti prolaza toplote prozora, fasadnih zidova, krovova i podova,  $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$ ;
- $A_F, A_R, A_{Fl}$  - površine fasada, krovova i podova, [m<sup>2</sup>];
- $F_{xi}$  - faktor korekcije temperature;
- $\beta = \frac{A_{wd}}{A_F}$  - koeficijent ostakljenja (odnos površina svih prozora i površina svih fasadnih zidova).

Za inženjerske proračune članovi  $\frac{U_R \cdot A_R \cdot F_{xi}}{A_F}$  i  $\frac{U_{Fl} \cdot A_{Fl} \cdot F_{xi}}{A_F}$  u jednačini (1) se mogu zanemariti (pri tome je maksimalna greška 2-3%), što je urađeno u ovom radu.

U tabeli 1 dat je proračun  $q_T$  za vrednosti  $\beta = 0,2$  do  $0,4$  i to za postojeće VSSZ sa  $U_{wd} = 3,0 \frac{W}{m^2 K}$  i  $U_{wl} = 0,8-1,2 \frac{W}{m^2 K}$  i za VSSZ posle TM sa  $U_{wd} = 1,5 \frac{W}{m^2 K}$  i  $U_{wl} = 0,4 \frac{W}{m^2 K}$  (prema tabeli 3.4.1.3 „Pravilnika o energetske efikasnosti zgrada” Sl.Gl. RS br 72/09, 81/09 – ispravke 64/10 – US i 24/11).

Iz tabele 1, u kojoj su dati rezultati proračuna specifičnih transmisionih gubitaka toplote, se vidi da se pri  $\beta = 0,25$ , posle TM u skladu sa „Pravilnikom o energetskej efikasnosti zgrada” može smanjiti koeficijent transmisionih gubitaka toplote za 57% u odnosu na iste gubitke u postojećim VSSZ.

Tabela 1. Koeficijentat transmisionhi gubitaka toplote  $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$

$\beta$	Postojeće VSSZ			Teremomodernizovane VSSZ			Umanjenje (%)
	Prozori	Fasadni zid	Ukupno	Prozori	Fasadni zid	Ukupno	
	$Uwl = 0,8 \frac{W}{m^2 \cdot K}, Uwd = 3,0 \frac{W}{m^2 \cdot K}$			$Uwl = 0,4 \frac{W}{m^2 \cdot K}, Uwd = 1,5 \frac{W}{m^2 \cdot K}$			
0,20	0,60	0,64	1,24	0,30	0,32	0,62	50,00
0,25	0,75	0,60	1,35	0,375	0,30	0,675	50,00
0,30	0,90	0,56	1,46	0,45	0,28	0,73	50,00
0,35	1,05	0,52	1,57	0,525	0,26	0,785	50,00
0,40	1,20	0,48	1,68	0,60	0,24	0,84	50,00
	$Uwl = 0,9 \frac{W}{m^2 \cdot K}, Uwd = 3,0 \frac{W}{m^2 \cdot K}$			$Uwl = 0,4 \frac{W}{m^2 \cdot K}, Uwd = 1,5 \frac{W}{m^2 \cdot K}$			
0,20	0,60	0,72	1,32	0,30	0,32	0,62	53,03
0,25	0,75	0,675	1,425	0,375	0,30	0,675	52,63
0,30	0,90	0,63	1,53	0,45	0,28	0,73	52,29
0,35	1,05	0,585	1,635	0,525	0,26	0,785	51,99
0,40	1,20	0,54	1,74	0,60	0,24	0,84	51,72
	$Uwl = 1,0 \frac{W}{k m^2}, Uwd = 3,0 \frac{W}{k m^2}$			$Uwl = 0,4 \frac{W}{k m^2}, Uwd = 1,5 \frac{W}{k m^2}$			
0,20	0,60	0,80	1,40	0,30	0,32	0,62	55,71
0,25	0,75	0,75	1,50	0,375	0,30	0,675	55,00
0,30	0,90	0,70	1,60	0,45	0,28	0,73	54,38
0,35	1,05	0,65	1,70	0,525	0,26	0,785	53,82
0,40	1,20	0,60	1,80	0,60	0,24	0,84	53,33
	$Uwl = 1,1 \frac{W}{m^2 \cdot K}, Uwd = 3,0 \frac{W}{m^2 \cdot K}$			$Uwl = 0,4 \frac{W}{m^2 \cdot K}, Uwd = 1,5 \frac{W}{m^2 \cdot K}$			
0,20	0,60	0,88	1,48	0,30	0,32	0,62	58
<b>0,25</b>	<b>0,75</b>	<b>0,825</b>	<b>1,575</b>	<b>0,375</b>	<b>0,30</b>	<b>0,675</b>	<b>57</b>
0,30	0,90	0,77	1,67	0,45	0,28	0,73	56
0,35	1,05	0,715	1,765	0,525	0,26	0,785	55
0,40	1,20	0,66	1,86	0,60	0,24	0,84	
	$Uwl = 1,2 \frac{W}{m^2 \cdot K}, Uwd = 3,0 \frac{W}{m^2 \cdot K}$			$Uwl = 0,4 \frac{W}{m^2 \cdot K}, Uwd = 1,5 \frac{W}{m^2 \cdot K}$			
0,20	0,60	0,96	1,56	0,30	0,32	0,62	60,26
0,25	0,75	0,90	1,65	0,375	0,30	0,675	59,10
0,30	0,90	0,84	1,74	0,45	0,28	0,73	58,05
0,35	1,05	0,78	1,83	0,525	0,26	0,785	57,10
0,40	1,20	0,72	1,92	0,60	0,24	0,84	56,25

## 2) Smanjenje potrošnje toplote koje se može ostvariti smanjenjem koeficijenta ventilacionih gubitka

Smanjenje potrošnje toplote, koje se može ostvariti smanjenjem koeficijenta ventilacionih gubitaka se izračunava po DINEN 12831, Beiblat 1, juli 2008. godine, po metodologiji koja je navedena u literaturi [12].

$$\dot{V}_{th} = \max(\dot{V}_{min}, \dot{V}_{inf})$$

(2), gde su:

$\dot{V}_{th} \left[\frac{m^3}{h}\right]$  – protok svežeg vazduha za provetravanje prostorija.

$\dot{V}_{\min}$  [ $\frac{m^3}{h}$ ] – minimalni protok vazduha koji obezbeđuje sanitarne uslove u prostoriji (sprečavanje kondenzacije vlage i povećanje sadržaja CO<sub>2</sub>)

$\dot{V}_{\inf}$  [ $\frac{m^3}{h}$ ] – protok svežeg vazduha infiltracijom.

Na osnovu mnogobrojnih proračuna je utvrđeno da je pri:

$$n_{50} < 8 \left[\frac{1}{h}\right] \rightarrow \dot{V}_{th} = \dot{V}_{\min}$$

$$n_{50} \geq 8 \left[\frac{1}{h}\right] \rightarrow \dot{V}_{th} = \dot{V}_{\inf}, \quad (2.1), \text{ gde je}$$

$n_{50}$  [ $\frac{1}{h}$ ] – broj izmena vazduha u prostoriji  $\Delta p = 50Pa$ .

Na osnovu razgovora sa kolegom Vladimirom Koraćem, dipl. maš. inž. i literature [13], u Srbiji su merenjem dobijene vrednosti  $n_{50} = 3 - 10 \left[\frac{1}{h}\right]$ . Međutim, izvršeno je malo merenja da bi se mogle proceniti pouzdane vrednosti  $n_{50}$ .

Prema literaturi [12],  $n_{50} = 6 \left[\frac{1}{h}\right]$ , za stambene zgrade koje imaju lošu hermetizaciju.

Na osnovu iskustva u Srbiji [13], u ovom radu sam za proračun za postojeće VSSZ, izabrao  $n_{50} = 8 \left[\frac{1}{h}\right]$ , tj.

$\dot{V}_{th} = \dot{V}_{\inf}$ , a za TM VSSZ  $\dot{V}_{th} = \dot{V}_{\min}$ .

$$\dot{V}_{\inf} = 2 \cdot V_R \cdot n_{50} \cdot e \cdot \varepsilon \quad (2.2), \text{ gde je}$$

$V_R$  [ $m^3$ ] – zapremina prostorije za koju se računa koeficijent ventilacionih gubitaka.

$n_{50}$  [ $\frac{1}{h}$ ] – broj izmena vazduha u prostoriji  $\Delta p = 50Pa$ .

$e$  – koeficijent koji uzima u obzir uticaj vetra na infiltraciju.

$\varepsilon$  – koeficijent koji uzima u obzir visinu zgrade.

Za proračun sam izabrao prostoriju na drugom spratu višespratne stambene zgrade, koja ima isti koeficijent ostakljenja  $\beta = 0,25$  kao kod zgrada za koje je u ovom radu proračunat koeficijent transmisionih gubitaka.

Geometrijske karakteristike prostorije su:

- površina poda: 22,27 m<sup>2</sup>
- zapremina prostorije: 56,79 m<sup>3</sup>
- čista visina prostorije 2,55 m
- visina prostorije za proračun gubitaka toplote 2,75 m
- dužina zida u kome je ugrađen prozor 5,39 m
- površina fasade za proračun ventilacionih gubitaka je 14,82 m<sup>2</sup>

### 2.1) Proračun koeficijenta ventilacionih gubitka za postojeće VSSZ

$$2.1.1) \dot{V}_{\inf} = 2 \cdot V_R \cdot n_{50} \cdot e \cdot \varepsilon = 2 \cdot 56,79 \cdot 8 \cdot 0,002 \cdot 1,7 = 30,89 \left[\frac{m^3}{h}\right]$$

$e = 0,002$ , tabela 7.8 [12]

$$\varepsilon = 1,7 \text{ za zgrade visina } 30 - 40 \text{ m, tabela 7.9 [12]}$$

$$2.1.2) H_V = \frac{0,34 \cdot \dot{V}_{\inf}}{A_f} = \frac{30,89 \cdot 0,34}{14,82} = 0,71 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (2.3), \text{ gde su:}$$

$A_f$  [ $m^2$ ] površina fasade za proračun ventilacionih gubitaka

### 2.2) Proračun koeficijenta ventilacionih gubitka za postojeće TM VSSZ

$$2.2.1) \dot{V}_{\min} = n_{\min} \cdot V_R \quad (2.4), \text{ gde su:}$$

$n_{\min}$  [ $\frac{1}{h}$ ] – minimalni broj izmena vazduha,

$V_R$  [ $m^3$ ] – zapremina prostorije

$n_{\min} = 0,5 \left[\frac{1}{h}\right]$ , tabela 7.10 [12]

$$2.2.2) H_{VTM} = \frac{0,34 \cdot \dot{V}_{\min}}{A_f} = \frac{0,34 \cdot 28,4}{14,82} = 0,65 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

### 2.3) Ukupni koeficijent toploznih gubitka:

$$H = H_T + H_V \quad (2.5), \text{ gde su:}$$

$H_T [\frac{W}{m^2 \cdot K}]$  – koeficijent transmisivnih gubitaka

$H_V [\frac{W}{m^2 \cdot K}]$  - koeficijent ventilacionih gubitaka

2.3.1) Koeficijent ukupnih toplotnih gubitaka za postojeće VSSZ

$$H = H_T + H_V = 1,575 + 0,71 = 2,285 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$H_T = 1,575 \frac{W}{m^2 \cdot K}$  - tabela 1, ovog rada za  $\beta = 0,25$ , i  $U_{wl} = 1,1 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

2.3.2) Koeficijent ukupnih toplotnih gubitaka za TM VSSZ

$$H_{TM} = H_{TTM} + H_{VTM} = 0,675 + 0,65 = 1,325 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$H_{TTM} = 0,675 \frac{W}{m^2 \cdot K}$  - tabela 1, ovog rada za  $\beta = 0,25$ , i  $U_{wl} = 1,1 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

2.3.3) Odnos toplotnih gubitaka TM VSSZ i toplotnih gubitaka postojećih VSSZ:

$$\frac{H_{TM}}{H} = \frac{1,325}{2,285} = 0,58$$

U daljem tekstu ovog rada koristiće se  $\frac{H_{TM} \cdot q_n}{H \cdot q_0}$

### 3) Moguće smanjenje temperature i protoka vode za grejanje

Moguće smanjenje temperature i protoka vode za grejanje, pod uslovom da se postojeći radijatori i cevna mreža ne zamenjuju (samo se redovno servisiraju), može se proceniti po sledećoj jednačini [8]:

$$\frac{q_n}{q_0} = \left( \frac{\Delta T_n}{\Delta T_0} \right)^n = \left( \frac{\Delta T_n}{60} \right)^{1,3} \quad (3)$$

gde su:

- $q_n, q_0$  - ukupni specifični gubici toplote, koji treba da se nadoknade toplotnim učinkom grejnih tela, za TM VSSZ i za postojeće VSSZ, [kW];
- $\Delta T_n, \Delta T_0$  - temperaturni naponi grejnih tela za TM VSSZ i za postojeće VSSZ, [°C];
- $n$  - koeficijent odavanja toplote grejnih tela (za livene radijatore  $n = 1,3$ );

Iz jednačine (3) izračunava se  $\Delta T_n$ :

$$\Delta T_n = e^C \quad (4)$$

gde je:

$$C = \frac{1}{1,3} \ln \left( \frac{q_n}{q_0} \right) + \ln 60 \quad (5)$$

Predhodno je izračunato  $\frac{H_{TM} \cdot q_n}{H \cdot q_0} = 0,58$ .

Iz jednačine (5) se izračunava  $C = 3,68$ , a iz jednačine (4),  $\Delta T_n = 39,65^\circ\text{C}$ . Za razliku temperatura napojne i povratne vode za grejanje  $\Delta t_w = 15^\circ\text{C}$  i  $\Delta T_n = 39,65^\circ\text{C}$  izračunava se:  $t_s = 67,15^\circ\text{C}$ ,  $t_r = 52,15^\circ\text{C}$ , što odgovara standardu  $t_s/t_r = 70/55^\circ\text{C}$ , gde su:

$t_s, t_r$  - temperature napojne i povratne vode sistema grejanja.

Termičkom modernizacijom u skladu sa „Pravilnikom o energetske efikasnosti zgrada RS“, zbog smanjenja specifičnih transmisivnih toplotnih gubitaka za 42% [(1-0,58)x100] smanjuje se toplotni učinak radijatora, pa su proračunate nove temperature vode, koje odgovaraju ovom smanjenju transmisivnih toplotnih gubitaka za zgradu sa  $\beta = 0,25$ ,  $U_{wl} = 1,1 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ .

Protok vode kroz grejna tela TM VSSZ se može smanjiti za oko 22% u sezoni grejanja i pri tome će se u stambenim prostorijama održavati projektna temperatura od 20 °C.

Napomena: Pri ovim proračunima uzete su vrednosti ukupnih transmisivnih gubitaka toplote za zgradu sa  $\beta = 0,25$ ,  $U_{wl} = 1,1 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ . Pri izradi projekta TM, ukupne gubitke toplote treba računati za svaku prostoriju u svakoj zgradi. Referentna prostorija za proračun temperaturnog napora grejnih tela je prostorija u kojoj je odnos  $\frac{q_n}{q_0}$  najmanji [8].

Obzirom da su, prema mojem iskustvu u VSSZ, liveni radijatori predimenzionisani za 20-30% (uvećana grejna površina radijatora u odnosu na proračun), moguće je da se u praksi posle TM VSSZ projektne temperature vode smanje na 65/50 °C ili čak na 60/45 °C, što će omogućiti korišćenje toplotnih pumpi i/ili sunčeve energije za grejanje.

## V. Termička modernizacija SG i V

VSSZ, SG i V u njima, i stanovnici čine jedinstven tehničko – biološki sistem, koji u neposrednom kontaktu sa okolinom razmenjuje toplotu, vlagu i vazduh. Ovi procesi razmene su međuzavisni, istovremeni i nestacionarni. Racionalna potrošnja toplote za SG i V je jedino moguća ako se automatski upravlja ovim procesima.

Automatsko upravljanje SG realizuje se na 3 mesta:

- centralno upravljanje na izvoru toplote;
- mesno upravljanje u individualnim toplotnim podstanicama (ITP) zgrada
- individualno upravljanje na grejnim telima

U ovom radu se razmatra samo mesno i individualno automatsko upravljanje.

### *Mesno automatsko upravljanje u ITP zgrada*

U postojećem ITP VSSZ koristi se mesna automatska regulacija temperature napojne vode SG u zavisnosti od temperature spoljašnjeg vazduha, tj. kvalitativna regulacija. Poznato je da ovaj sistem regulacije nije optimalan. Optimalan sistem regulacije je kvantitativno-kvalitativni, tj. sa porastom temperature spoljašnjeg vazduha, potrebno je pored smanjivanja temperature napojne vode SG, smanjivanje i protoka vode u SG da bi se obezbedila hidraulična stabilnost SG i sprečilo vertikalno razregulisavanje SG (pregrevanje stanova na višim spratovima i nedovoljno grejanje stanova na nižim spratovima).

Na osnovu bilansa toplote zgrade dobijene su sledeće jednačine za kvantitativno-kvalitativni sistem regulisanja:

(6)  $j = \varphi^{0,5}$  – zakon promene protoka koji obezbeđuje hidrauličnu stabilnost SG [6]

(7)  $t_m = t_{in} + \varphi^{\frac{1}{1+n}} (t_{mn} - t_{in})$

(8)  $t_s = t_m + \frac{\varphi}{2j} (t_{sn} - t_m)$

(9)  $t_r = t_m - \frac{\varphi}{2j} (t_{sn} - t_m)$

gde su:

$\varphi = \frac{Q}{Q_n}$  - relativna količina toplote koja se SG dovodi u zgradu i predaje grejnim telima,

$j = \frac{\dot{G}}{\dot{G}_n}$  - relativni protok vode kroz SG (%),

$t_m = \frac{t_s + t_r}{2}$  - srednja temperatura vode u SG (°C),

$t_s, t_r$  - temperatura napojne vode SG, temperatura povratne vode iz SG (°C)

$t_i$  - temperatura vazduha u zgradi (°C)

Indeks „n“ se odnosi na projektne (nominalne) uslove.

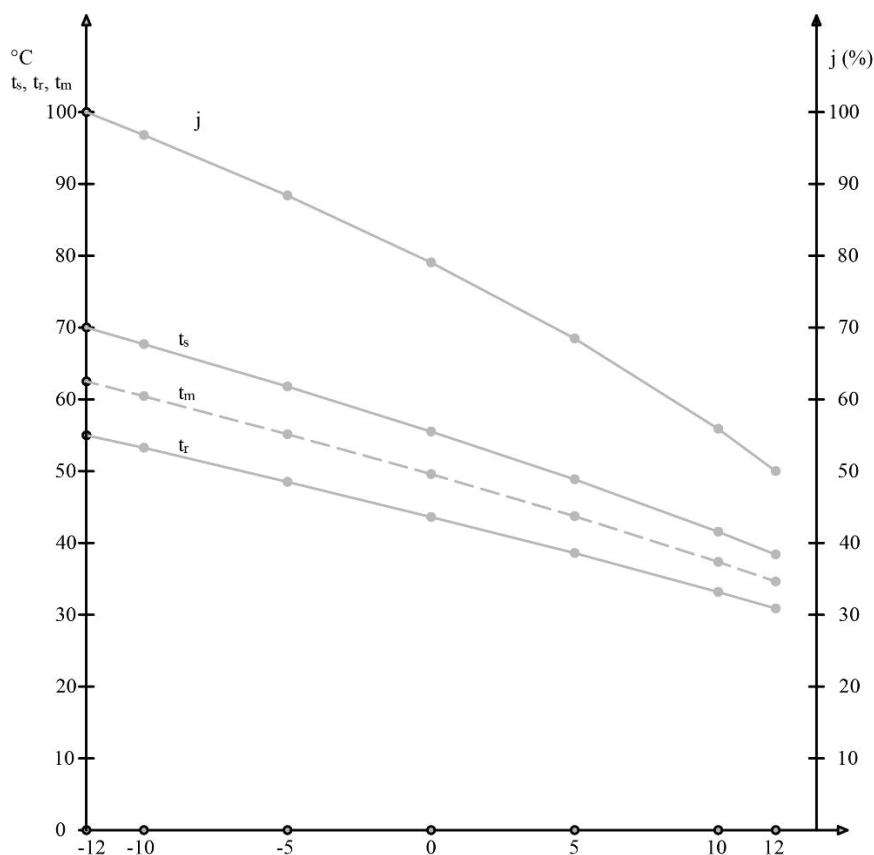
Ispitivanja izvršena u praksi su pokazala da pri kvantitativno-kvalitativnom sistemu regulisanja po zakonu stepena (jednačina 6), sa stepenom 0,5, pri promeni protoka vode u dvocevnom sistemu grejanja (SG), relativna promena protoka vode po spratovima zgrade ostaje ista pri bilo kojoj spoljašnjoj temperaturi, tj. eliminisan je uticaj gravitacije [6] i spreceno vertikalno razregulisavanje SG.

U tabeli 2 navedene su brojne vrednosti za  $\varphi, j, t_s, t_r, t_m$ , koje su izračunate po jednačinama (6) do (9) za SG posle TM, 70/55/20 °C, za spoljašnje temperature od -12 °C do +12 °C.

Tabea 2. Brojne vrednosti temperatura  $t_s$ ,  $t_r$ ,  $t_m$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) i relativnog protoka  $j$  (%) za „kvantitativno-kvalitativnu“ regulaciju SG, 70/55/20  $^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{aN}=-12^{\circ}\text{C}$ ,  $n=0,30$

$t_a$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	-12	-10	-5	0	+5	+10	+12
$\varphi$ (-)	1	0,9375	0,7813	0,625	0,4688	0,3125	0,25
$j$ (%)	1	96,82	88,39	79,06	68,47	65,90	50,00
$t_s$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	70	67,70	61,78	55,53	48,86	41,56	38,38
$t_r$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	55	53,18	48,52	43,68	38,59	33,18	30,88
$t_m$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	62,5	60,44	55,15	49,61	43,73	37,37	34,53

Na slici 1 prikazani su grafici  $j$ ,  $t_s$ ,  $t_r$ ,  $t_m$  u zavisnosti od temperatura spoljašnjeg vazduha ( $t_a$ ), za SG posle TM, 70/55/20  $^{\circ}\text{C}$ ,  $n=0,30$ , na osnovu brojnih vrednosti uz tabele 2.



Slika 1. Grafici temperatura i relativnog protoka za „kvantitativno-kvalitativno“ regulisanje SG, 70/55/20  $^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{aN}=-12^{\circ}\text{C}$ ,  $n=0,30$

Postojeće sisteme automatskog upravljanja u ITP zgrada treba dopuniti sa:

- modulom za automatsko adaptivno „kvalitativno-kvantitativno“ upravljanje temperaturom i protokom napojne vode u sistemu grejanja (Slika 2)
- modulom za automatsko održavanje razlike temperatura povratnih voda  $\Delta t = 5^{\circ}\text{C}$  na izmenjivačima toplote (Slika 3)

Predlaže se da se upravljanje sistemima grejanja u ITP vrši po sledećoj univerzalnoj jednačini[10]:

$$t_s - t_i = q_v \cdot V \cdot \left[ \frac{1}{2c_w \cdot \dot{G}_w} + \frac{1}{k \cdot F} \right] \cdot (t_i - t_a) \quad (6)$$

gde su:

- $t_s, t_i, t_a$  - temperature napojne vode, vazduha u referentnoj prostoriji zgrade, spoljašnjeg vazduha [ $^{\circ}\text{C}$ ];
- $q_v \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}} \right]$  - nominalni specifični zapreminski gubici toplote zgrade;
- $V \text{ [m}^3\text{]}$  - zapremina zgrade;
- $c_w \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \right]$  - specifična toplota vode u sistemu grejanja;
- $\dot{G}_w \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$  - protok vode u sistemu grejanja;
- $k \cdot F \left[ \frac{\text{W}}{^{\circ}\text{C}} \right]$  - proizvod koeficijenta prenosa toplote grejnih tela i površina svih grejnih tela u zgradi; tj. karakteristika „ekvivalentnog“ grejnog tela koje zamenjuje sva grejna tela u zgradi.

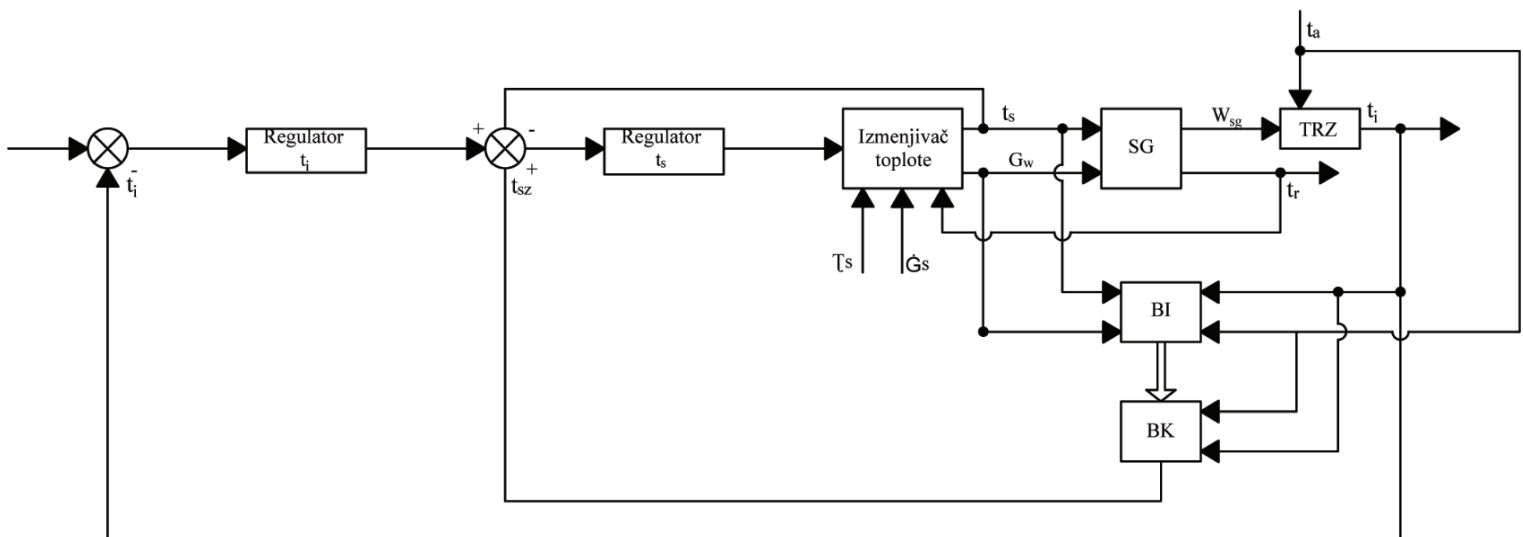
Jednačina (6) može se napisati u obliku:

$$y = a + b \cdot x \quad (7)$$

gde su:

$$y = \frac{t_s - t_i}{t_i - t_a}; \quad x = \frac{1}{\dot{G}_w}; \quad a = \frac{q_v \cdot V}{k \cdot F}; \quad b = \frac{q_v \cdot V}{2 \cdot c_w};$$

Adaptivnim algoritmom upravljanja za svaku zgradu u režimu realnog vremena određuju se parametri „ $a$ ” i „ $b$ ” i na osnovu njih potrebna temperatura napojne vode sistema grejanja u funkciji spoljne temperature i protoka vode  $t_s = f(t_a, \dot{G}_w)$ , pri  $t_i = 20^{\circ}\text{C}$ .



Slika 2. Strukturna sema adaptivnog kvalitativno-kvantitativnog sistema upravljanja u ITP zgrada[10]

TRZ – toplotni režim zgrade

SG – system grejanja

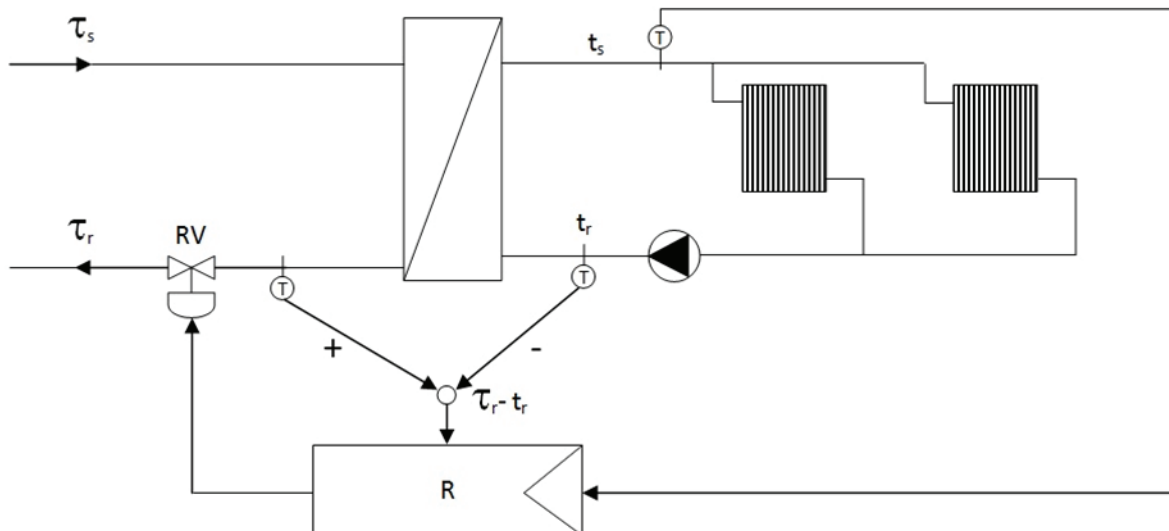
BI – blok identifikacije (u ovom bloku određuju se realne brojne vrednosti parametara  $q_v \cdot V$  i  $(k \cdot F)_{sg}$ )

BK – blok kompenzacije (u ovom bloku određuje se vrednost temperature  $t_{sz}$  na osnovu tekuće temperature spoljašnjeg vazduha i zadate temperature vazduha u referentnoj prostoriji zgrade.

$T_s$  - temperatura napojne vode iz sistema daljinskog grejanja.

$\dot{G}_s$  – protok vode iz sistema daljinskog grejanja.

$\dot{G}_w$  – protok vode u sistemu grejanja zgrade.



Slika 3. Modul za automatsko održavanje razlike temperatura povratnih voda[5 Siemens]

$t_s, t_r$  - temperature vode sistema grejanja

$\tau_s, \tau_r$  - temperature vode izvora toplote

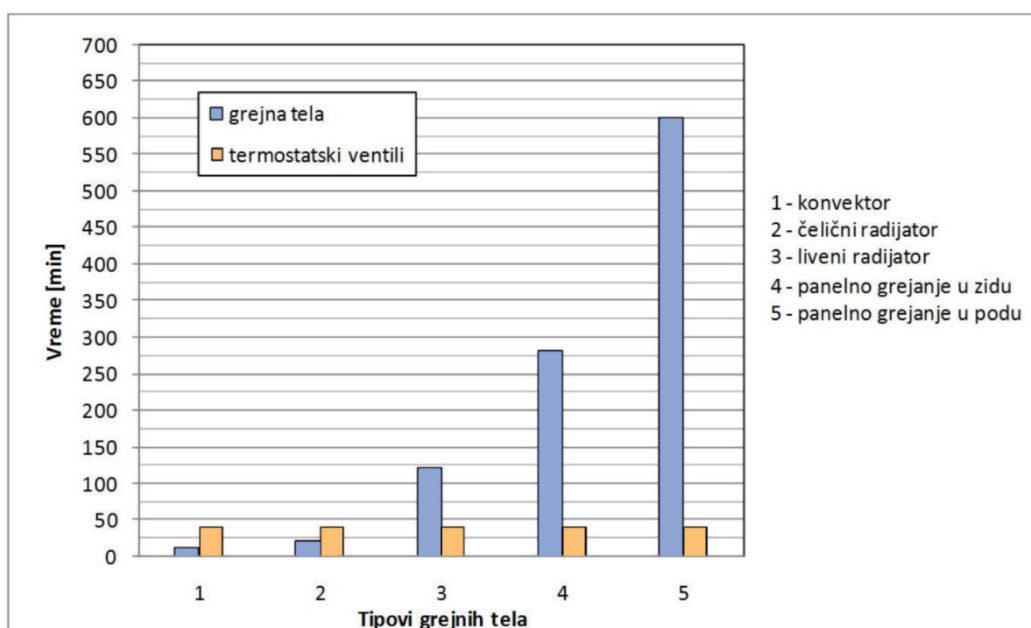
R – regulator u ITP

Ako je  $\tau_r - t_r > 5 \text{ }^\circ\text{C}$  regulator zatvara regulacioni ventil (RV)

#### Individualno upravljanje na grejnim telima

Pošto su u postojećim VSSZ ugrađeni liveni radijatori, na njima je moguće termostatskim ventilima u prelaznom periodu (jesen, proleće) ostvariti samo lokalnu dvopoložajnu regulaciju (on-off) [9], jer je vreme zatvaranja termostatskog ventila znatno manje od vremena hlađenja livenih radijatora (Slika 4).

Liveni radijatori imaju veliku toplotnu inerciju. Posle zatvaranja termostatskog ventila njima je potrebno oko 2 sata da se ohlade do sobne temperature. Pri tome termostatski ventil stvara uslove za ekonomiju toplote, ali radijator nije u mogućnosti da je realizuje. Radijator takođe kasni sa reakcijom posle zatvaranja termostatskog ventila. Termostatski ventil pri tome stvara uslove za toplotni komfor u prostoriji, ali radijator u tom trenutku nije spreman da potpuno prekine dovod toplote u prostoriju.



Slika 4. Uporedni prikaz vremena zatvaranja termostatskog ventila i vremena hlađenja grejnih tela [9]

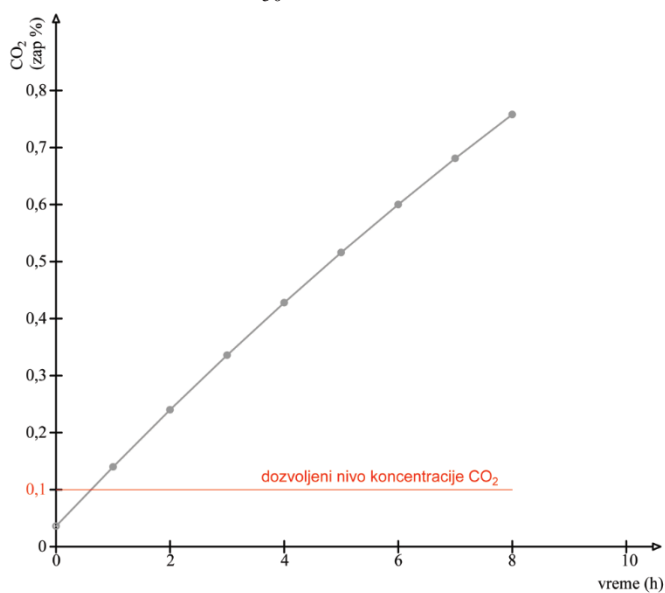
Zbog ograničenih mogućnosti lokalne automatske regulacije (on-off u prelaznom periodu – proleće/jesen), predlaže se da se dopuni mesna regulacija po adaptivnom algoritmu opisanom u ovom radu.

## VI. Predlog redosleda realizacije etapa TM VSSZ

Samo kompletno realizovana TM termičkog omotača zgrada i TM SG i V, obezbeđuje maksimalno smanjenje potrošnje toplote za grejanje i ventilaciju.

Pošto su finansijska sredstva za TM zgrada ograničena, predlaže se da se TM realizuje etapno, tako da se posle svake etape radova ostvare parcijalne uštede koje će se uvećavati realizacijom svake sledeće etape. Predlaže se sledeći redosled realizacije etapa radova, pri čemu TM SG i V ima prioritet u odnosu na TM omotača zgrada, jer ako se prvo izvrši TM omotača zgrada, onda će pri radu SG i V koji nisu modernizovani doći do pregrevanja prostorija i stanari će biti prinuđeni da otvaraju prozore da bi izbacili višak toplote napolje. Predlaže se sledeći redosled realizacije etapa radova:

1. Izrada kompletnih projekata TM sa svim potrebnim detaljima, redosledom realizacije etapa, etapnim i ukupnim uštedama toplote, načinom kontrole kvaliteta radova, cenom koštanja realizacije svake etape i ukupnom cenom koštanja TM,
2. Dopuna mesne automatske regulacije u ITP u zgradama, ugradnja cirkulacionih pumpi sa frekventnim regulatorima broja obrtaja, ugradnja merača toplote i ozakonjenje obračuna utroška toplote,
3. Popravka toplotne izolacije cevovoda grejanja u zgradama, servisiranje i/ili zamena neispravne armature na cevovodu grejanja, ugradnja merno – balansnih ventila na vertikalama (strangovima) za statičko balansiranje protoka vode, ispiranje cevovoda i grejnih tela, statičko balansiranje protoka vode u sistemima grejanja,
4. Zaštita omotača zgrada od navlaživanja, hermetizacija svih montažnih šavova (fuga), toplotna izolacija termičkih mostova,
5. Popravka postojećih sistema ventilacije (SV), ugradnja novih SV i zamena postojećih prozora sa novim u skladu sa „Pravilnikom o energetskej efikasnosti zgrada”. Štetno je po zdravlje stanara ako se ugrade prozori sa brojem izmena vazduha  $n_{50} = 0,6 h^{-1}$ , a da prethodno nije obezbeđen SV sa minimalnom količinom svežeg vazduha od najmanje  $2-3 \frac{m^3}{h}$  po  $1m^2$  stambene površine. Proračunom je dokazano [3], da u spavaćoj sobi zapremine  $35 m^3$  u kojoj spavaju 2 (dve) odrasle osobe, koncentracija  $CO_2$  za jedan sat previšava dozvoljeni nivo od 0,1% po zapremini, a za 8 sati spavanja dozvoljeni nivo koncentracije  $CO_2$  bio bi povišen 7,6 puta. Ovaj proračun je urađen za koncentraciju  $CO_2$  u spoljnom vazduhu od  $700 \frac{mg}{m^3}$  (0,0036% vol) i  $n_{50} = 0,6 h^{-1}$ ,  $V_{co2} = 18 lit/h \cdot osoba$ ,  $e = 0,07$  – koeficijent uticaja vetra (slika 5)



Slika 5. Dijagram zavisnosti koncentracije  $CO_2$  (vol%) od vremena boravka (h) za dve odrasle osobe u prostoriji zapremine  $35 m^3$ , sa brojem izmena vazduha  $n_{50}=0,6 (h^{-1})$

Vreme (h)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
CO <sub>2</sub> (vol %)	0,036	0,14	0,24	0,336	0,428	0,516	0,6	0,681	0,758

Ukoliko ne radi SV, posle ugradnje prozora sa  $n_{50} = 0,6$  l/h, postoji verovatnoća da se na unutrašnjoj površini spoljnih zidova (naročito oko uglova) pojavi kondenzat i buđa, u kojoj se razvijaju mikroorganizmi štetni po zdravlje ljudi. Obavezno treba PRE UGRADNJE novih prozora ugraditi „hibridni“ SV.

6. Termička izolacija omotača i izrada fasada zgrada (ugradnja i kontrola kvaliteta).
7. Ugradnja radijatorskih termostatskih ventila i automatskih balansnih ventila za dinamičko balansiranje protoka vode kroz vertikalne usponske vodove (štrangovali).
8. Ugradnja na radijatore delitelja troškova grejanja.
9. Ukoliko postoje tehničke mogućnosti, ugraditi sisteme za korišćenje obnovljivih izvora energije i korišćenje otpadne toplote.
10. Tokom građenja vršiti kontrolu kvaliteta radova toplotne zaštite termičkog omotača i toplotnih mostova, kao hermetizacije šavova između ramova prozora i otvora u spoljnim zidovima termičkog omotača i drugih šavova termičkog omotača.
11. Pre primopredaje radova izvršiti merenja broja izmena vazduha u prostorijama,  $n_{50}$  i koeficijenta prolaza toplote termičkog omotača  $U$ . Ako ovi parametri  $n_{50}$  [ $\frac{1}{h}$ ] i  $U$  [ $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ], nisu u skladu sa važećim normama RS, radovi se ne mogu predati dok se ne izvrše popravke i ponovnim merenjem potvrdi da su ove karakteristike u skladu sa normama RS.

VAŽNA NAPOMENA: Ako se aktivnosti navedene pod tačkama 10 i 11 ne urade kvalitetno i profesionalno, neće biti smanjenja utroška toplote i novac za termičku modernizaciju je bačen u vetar.

## VII. Finansiranje realizacije TM VSSZ

Smanjenje potrošnje toplote za SG i V i sa njom povezana zaštita životne okoline su u interesu države Srbije i svih njenih stanovnika, pa se predlaže sledeći način finansiranja:

- 10% - stanovništvo
- 10% - država Srbija
- 10% - opštine
- 30% - banke, beskamatni kredit
- 40% - banke, kredit po komercijalnim uslovima

Otplata kredita bi se vršila novcem koji se dobije smanjenjem cene za potrošenu toplotu.

Izračunavanje smanjenja potrošnje toplote vršice se obračunom na osnovu očitavanja kalorimetara uz određene korekcije koje će uzeti u obzir položaj stanova u zgradi i njihovu toplotnu interakciju sa susednim stanovima i okolinom.

Praksa je pokazala da nema smisla da se obračun toplote vrši na osnovu očitavanja kalorimetara za zgrade na kojima nije izvršena termička modernizacija.

Tek posle izvršene termičke modernizacije ima smisla vršiti ovaj obračun na osnovu očitavanja kalorimetara.

## VIII. Zaključci

1. Izračunato je smanjenje specifičnih transmisionih toplotnih gubitaka, ako bi se TM izvršila po važećem, „Pravilniku o energetske efikasnosti zgrada”
2. Izračunate su temperature i protoci vode u SG posle TM VSSZ.
3. Predložena je strukturna šema adaptivne mesne kvalitativno-kvantitativn automatske regulacije SG
4. Predložen je redosled realizacije etapa radova TM VSSZ
5. Predložen je način finansiranja TM VSSZ.

## IX. Literatura

- [1] **Todorović, B.**, *Projektovanje postrojenja za centralno grejanje*, X izdanje, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija, 2005.
- [2] **Todorović, M.**, *Predavanje 12. juna 2015. godine u Inženjerskoj komori Srbije: „Metodologija određivanja finansijski isplativih setova mera unapređenja energetske efikasnosti i korišćenje obnovljivih izvora energije”*, Beograd, Srbija, 2015.

- [3] **Vajda, J.**, *The Ventilation System - There is no Alternative*, [www.pasipedia.org](http://www.pasipedia.org)
- [4] **В.М. Копко.**, *Теплоснабжение, АСВ Москва, 2012. год.*
- [5] **\*\*\***, *Katalozi firmi „SIEMENS BMS”, „DANFOSS”, „OVEN-TROP”, „HERTZ”, „AERECO“*
- [6] **Е.А. Белинкий:** Рациональные системы водяного отопления, Ленинград 1963 год.
- [7] **Recknagel, Sprenger, Schramek.**: Taschenbuch fuer Heizung+ Klima Technik 2001/2002
- [8] **Jgnow Kati/ Halper Christian/ Timm Tobias und Sabirey Marco.**: Optimirung von Heizungsanlagen in Bestand; Teile 1 bis 5; TGA Fachplaner; Nr 5,8 und 11/2003, 1und 3/2004; Gentner; Stuttgart 2003 und 2004.
- [9] **Зайцев Олегб, Лукьянченко Дарья, Менаннов Эльмар, Степанцова Натаья.**: Повышение эффективности работы систем низкотемпературного водяного отопления. Журнал Строительство и техногенная безопасность №1(53) 2015.год.
- [10] **Панферов В.И.:** Адаптивно управление отоплением зданий. Журнал СОК №5/2014.год.
- [11] **Крупнов Б.А.:** О комплексных мерах снижения энергопотреблеения зданиями. Журнал СОК №7/2013.год.
- [12] **W. Burkhardt/R. Kraus:** Projektirung von Warmwasser heizungen, 8 Auflage, 2011 Oldenburg
- [13] **Vladimir Korać:** Uticaj grešaka u građevinskoj toplotnoj zaštiti na poremećaj grejne funkcije zgrade i način sprečavanja ovih grešaka. Zbornik radova 27 Kongresa KGH

#### PRILOZI:

1. Izmerena koncentracija CO<sub>2</sub> u stambenoj zgradi u Belorusiji posle TM (Časopis AVOK NO. 4/2019)



## 2. Prozorski element za ubacivanje svežeg vazduha za ventilaciju prostorije (AERECO EMM)



### EMM

Humidity sensitive air inlet



Humidity sensitive system: modulates the airflow according to the local relative humidity.



Acoustic attenuation up to 37 db with accessories.

Directional airflow: adaptable to the windows/ceiling configuration.



Optional closing device.



Slim profile (27 mm) for easy installation on windows.



Easy to maintain: no adjustment, simple yearly dusting.



#### Slim, robust design

The EMM air inlet concentrates all of Aereco's experience in the manufacture of humidity controlled ventilation products.

The slim and robust design of the EMM humidity sensitive air inlet, available in two airflow models and three different colours, has contributed to its success in many countries. With its acoustic canopy, the EMM air inlet achieves an acoustic attenuation of 37 dB.

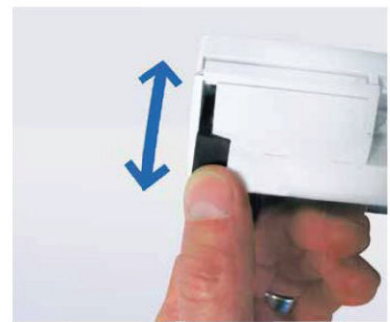
It is very easy to install: the base is attached to the window, then the air inlet is clipped to it.

#### Suited to all configurations (1, 2)

The directional base of the EMM air inlet makes it possible to install it with its air stream directed according to the position of the window relative to the ceiling or to an horizontal obstacle (in the pictures below: 1, vertical; 2, oblique) to ensure maximum comfort for the occupants.

#### A closing device against cold weather and strong winds (3)

A manual closing device available as an option or on a specific version allows manual locking of the air inlet at minimum aperture to prevent air from entering. This option is useful in countries where winter temperatures may be very low.





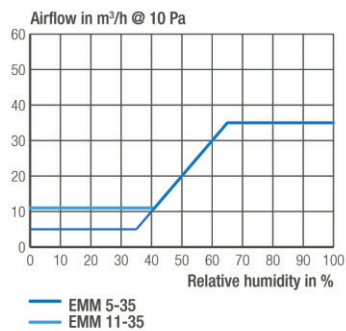
# EMM Window air inlet

		EMM 5-35	EMM 11-35	EMF 22	EMF 35
<b>Standard code</b>		EMM705	EMM751	EMF158	EMF713
<b>Airflow characteristics</b>					
Humidity sensitive		■	■	-	-
Closing device		□ (EMM716)	-	-	□ (EMF963)
Airflow (min.-max.) @ 10 Pa	m <sup>3</sup> /h	5-35	11-35	22	35
Max. opening area	mm <sup>2</sup>	4 000	4 000	2 500	4 000
<b>Acoustics</b>					
Dn,e,w (C ; Ctr) Acoustic attenuation @ max. opening, air inlet*	dB	34 (0 ; 0)	34 (0 ; 0)	-	34 (0 ; 0)
Dn,e,w (C ; Ctr) Acoustic attenuation @ max. opening, with A-EMM	dB	37 (0 ; 0)	37 (0 ; 0)	-	37 (0 ; 0)
<b>Accessories</b>					
Flat canopy		AP	AP	AP	AP
Acoustic canopy		A-EMM	A-EMM	A-EMM	A-EMM
Standard canopy		AS	AS	AS	AS
Airflow controller canopy		AC	AC	AC	AC
<b>Characteristics</b>					
Weight	g	170	170	147	147
Colours		white/brown/oak			
Material (main)		PS	PS	PS	PS
<b>Installation</b>					
Slot	mm	2 x (172 x 12); (270 x 14); (290 x 12)			
Window installation		■	■	■	■
Rolling shutter casing installation		■	■	■	■
Destination room		bedroom / living room			

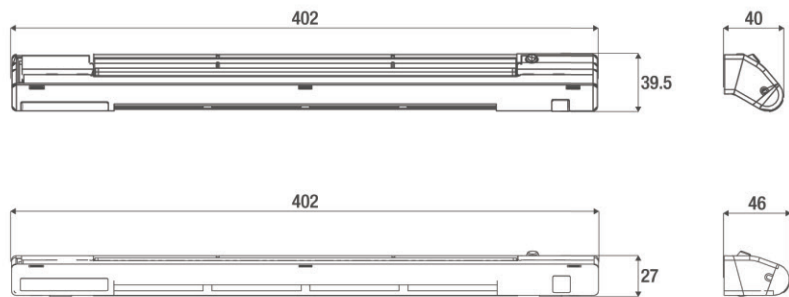
\*with non-acoustic canopies (AC, ASAM AP)

■ standard | □ optional

Airflow characteristics



Dimensions in mm



FLY591GB\_V2



62 rue de Lamirault – Collégien – 77615 MARNE LA VALLEE CEDEX 3 – FRANCE  
tel. +33 1 60 06 44 65 – fax +33 1 64 80 47 26 – www.aereco.com



3. Nemačka, Frankfurt, „Westside Tower“-Prozorski elementi za Ventilaciju„AERECO“[5]



4. Rusija, Moskva, „Diplomat“-Prozorski elementi za ventilaciju „AERECO“[5]