

# UVJETI POD KOJIMA JE INTERPRETACIJA OČITANJA NA KALORIMETRU NETOČNA

**Sažetak:** U radu je opisana situacija u kojoj razlika izmjerenih vrijednosti na kalorimetru s jednim brojačem, na početku i na kraju nekog vremenskog intervala, nema značenje koje se uobičajeno podrazumijeva da ima u uobičajenim situacijama. Razmatra se toplinski sustav s dva toplinska kruga. Na zasebnom dijelu svakog od ta dva toplinska kruga nalazi po jedan izlazni toplinski uređaj unutar kojih se emitira toplinska energija iz toplinskog sustava, a na zajedničkom dijelu jedan ulazni toplinski uređaj u kojem se generira energija koja ulazi u toplinski sustav. Uz zanemarivanje gubitka transfera toplinske energije, suma emitirane toplinske energije na izlaznim uređajima mora biti jednaka generiranoj toplinskoj energiji na ulaznom uređaju. Pokazano je da postoji uvjet pod kojim suma razlike stanja na kalorimetrima izlaznih uređaja, na kraju i na početku nekog vremenskog intervala, nije jednaka razlici stanja na kalorimetru ulaznog uređaja na kraju i početku istog vremenskog intervala nego je od nje veća. Predloženo je rješenje nalaženja iznosa toplinske energije koja je iz izlaznih uređaja u nekom vremenskom intervalu izašla iz sustava.

**Ključne riječi:** prijenos toplinske energije, toplinski sustav, kalorimetar, protok fluida, stopa prijenosa topline

## 1. UVOD

Proučavanjem podataka o potrošnji toplinske energije dobivenih mjesečnim mjerenjem na kalorimetrima stanova "3. šparne hiže" u Koprivnici, uočilo se da kalorimetri nekih stanova u sezoni podnog grijanja mjere pokoji kWh energije podnog hlađenja. Uočeno je da se radi o stanovima koji su imali intenzivno podno grijanje u uvjetima veće oscilacije temperature ulaznog fluida za podno grijanje (25-38 °C) pri čemu je, u nekim vremenskim intervalima, dolazilo do pojave veće izlazne temperature fluida od one ulazne. Ta energija hlađenja izmjerena u sezoni grijanja se u računima za grijanje ignorirala kao da je riječ o nekoj pogreški samih kalorimetara ili anomaliji sustava. Ovdje se pokazuje da ne mora biti tako i da je spomenuto pojavljivanje neznatne energije hlađenja u sezoni podnog grijanja moguće u uvjetima pojave veće izlazne temperature fluida podnog grijanja stana od one ulazne. Spomenuta izmjerena energija hlađenja predstavlja energiju grijanja koju je stan vratio nazad sustavu podnog grijanja te se, pri izračunu potrošnje toplinske energije stana, ona treba oduzeti od energije grijanja koja je ušla u stan. To se nažalost ne radi, no greške nisu znatne jer je mjesečna temperatura hlađenja izmjerena u sezoni podnog grijanja u ponekim stanovima neznatna i iznosi 1 do 3 kWh. Obrnuta situacija se pojavljuje u sezoni podnog hlađenja.

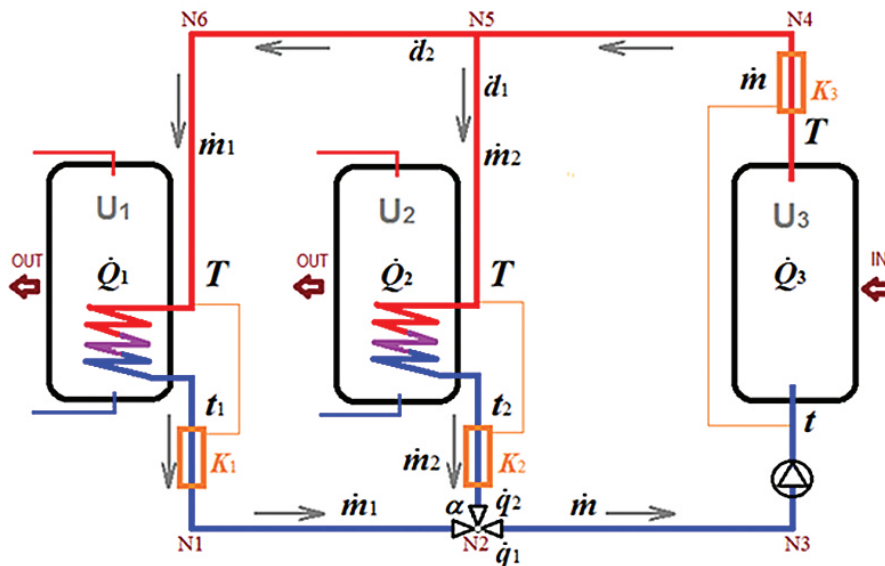
Proučavanjem podataka o potrošnji toplinske energije utrošene za pripremu potrošne tople vode (PTV) u spremniku PTV dobivenih mjerenjem na kalorimetrima toplinskog sustava "3. šparne hiže" u Koprivnici, uočeno je da je mjesečno utrošeno daleko više toplinske energije nego što je potrebno da bi se zagrijala dobivena mjesečna količina tople vode. Uočeno je da 30% do 50% utrošene energije nije došlo u stanove kroz potrošnu toplu vodu (vidi [1]). Radi se o novoj zgradi energetskog certifikata A+, s novim suvremenim toplinskim sustavom i iznos se može smatrati prevelikom da bi se razlika opravdala prihvatljivim gubitkom topline pri prijenosu tople vode do stanova. Moglo bi se pretpostaviti da se dio toplinske energije koji je ušao u spremnik vraća nazad u sustav i ne koristi se za zagrijavanje PTV. Ovdje se pokazuje da pod određenim uvjetima tako što je moguće.

U konkretnom primjeru "3. šparne hiže" postoje tri izvora toplinske energije kojima se grije voda u spremniku PTV. Doprinos tih izvora mjeri se kalorimetrima koji mjere samo energiju grijanja te nije moguće odrediti postoji li i koliki je eventualni pretpostavljeni povrat energije grijanja iz spremnika PTV prema uređajima koji su izvor energije grijanja te preko njih u druge dijelova toplinskog sustava s nižom temperaturom. Pri ugradnji kalorimetara došlo je do slučajne zamjene jednog od spomenuta tri kalorimetra toplinskog sustava s kalorimetrom jednog stana. Tako da je taj kalorimetar, do ispravljanja pogreške tj. njihove ponovne zamjene, mjerio i energiju hlađenja koja je 'odaslana' u spremnik za PTV, odnosno mjerio je energiju grijanja koja se iz spremnika PTV vratila u sustav. Uočeno je da se u sustav vratilo oko 10% energije grijanja izmjerene na tom

kalorimetru. To potvrđuje opravdanost pretpostavke da je pod određenim uvjetima moguć povratak energije grijanja iz spremnika nazad u sustav. Posljedično tome, slijedi da je potrebno ugraditi i koristiti kalorimetre koji pored energije grijanja mjere i energiju hlađenja, a kao energiju utrošenu za PTV uzeti razliku energije grijanja koja je ušla u spremnik PTV i one koja je iz njega izašla a mjeri se kao energija hlađenja. Kako sada stvari stoje kalorimetri ne mjere energiju koja je doista utrošena za PTV nego samo onu koja je ušla u spremnik PTV zanemarujući onu koja je iz njega izašla. Nadalje se razmatra sustav opisan u [2], koji je znatno jednostavniji od onog koji je instaliran u "3. šparnoj hiži" no jednostavno pokazuje da su moguće situacije u kojima se energija grijanja vraća nazad u sustav.

## 2. OPIS RAZMATRANOG SUSTAVA

Promatrani toplinski sustav (slika 1) se sastoji od dva toplinska kruga (N1-N3-N4-N6-N1 i N2-N3-N4-N5-N2) spojena na jedno dijelu (N2-N3-N4-N5). Na samostalnim dijelovima svakog od dva toplinska kruga nalaze se uređaji U1 i U2 preko kojih toplinska energija izlazi iz sustava. Na zajedničkom dijelu je uređaj U3 u kojem se generira toplinska energija koja ulazi u sustav. Toplinska energija koja ulazi u sustav preko uređaja U3 mjeri se na kalorimetru K3, a toplinska energija koja preko uređaja U1 i U2 izlazi iz sustava mjeri se na kalorimetrima K1 i K2. S  $\dot{Q}_1$ ,  $\dot{Q}_2$  i  $\dot{Q}_3$  označeni su toplinski tokovi na uređajima U1, U2 i U3. Na primjer uređaj U3 može biti solarni kolektor, a uređaji U1 i U2 spremnici topline s izmjenjivačem topline. Jedan spremnik može biti za grijanje stanova a drugi za PTV. Drugi primjer je da je uređaj U3 grijač fluida za grijanje stanova ili radijatora, a uređaji U1 i U2 stanovi ili radijatori.



Slika 1. Toplinski sustav s dva toplinska kruga

Kroz sustav cirkulira fluid konstantne mase  $m$ . Toplinske gubitke sustava smatramo zanemarivim. Temperature fluida pri izlazu iz uređaja U1, U2 i U3 su redom  $t_1$ ,  $t_2$  i  $T$ . Temperature fluida pri ulazu u uređaje U1, U2 i U3 su redom  $T$ ,  $T$  i  $t$ . Tada vrijedi  $\dot{Q}_3 = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2$ . Ukoliko je  $\dot{Q}_3 > 0$  ( $T > t$ ) imamo zagrijavanje sustava, a ukoliko je  $\dot{Q}_3 < 0$  ( $T < t$ ) imamo hlađenje sustava preko uređaja U3. Funkcije  $\dot{Q}_1$  i  $\dot{Q}_2$  mogu poprimiti i negativnu i pozitivnu vrijednost. Kada je  $\dot{Q}_i < 0$  ( $i=1$  ili  $2$ ) u uređaju  $U_i$  se emitira hladnoća, a energija topline se prenosi s uređaja  $U_i$  u sustav, u suprotnom ( $\dot{Q}_i > 0$ ) emitira se toplina i energija hlađenja ulazi u sustav preko  $U_i$ .

Na spoju toplinskih krugova i zajedničkog dijela (čvor N2) nalazi se troputni ventil.  $\dot{m}$  je tok fluida mase  $m$  koji izlazi iz troputnog ventila u smjeru uređaja U3. Troputni ventil regulira omjer tokova fluida  $\dot{m}_1$  i  $\dot{m}_2$ , koji u njega dolaze iz uređaja U1 i U2, u totalnom toku fluida  $\dot{m}$ . Neka je  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) udio  $\dot{m}_1$  u  $\dot{m}$ , tj. neka je  $\dot{m}_1 = \alpha \dot{m}$ , budući da je  $\dot{m} = \dot{m}_1 + \dot{m}_2$  slijedi  $\dot{m}_2 = (1 - \alpha)\dot{m}$ . Dijelove toplinskog toka energije generirane u U3 koji odlazi u U1 i U2 označimo s  $\dot{d}_1$  i  $\dot{d}_2$ .

Zbog razlike u temperaturi ( $t_1 \neq t_2$ ), pri miješanju u troputnom ventilu, dolazi do prelaska topline s toplijeg toka fluida na hladniji. Kada je  $t_1 < t_2$  tok fluida  $\dot{m}_2$ , temperature  $t_2$ , pri miješanju se hladi na temperaturu  $t$  i zagrijava tok fluida  $\dot{m}_1$ , temperature  $t_1$ , na temperaturu  $t$ . Kada je  $t_1 > t_2$  tok fluida  $\dot{m}_1$  pri miješanju zagrijava toka fluida  $\dot{m}_2$ . Označimo s  $\dot{q}_2$  pripadni toplinski tok koji prelazi s toka fluida  $\dot{m}_2$  na tok fluida  $\dot{m}_1$ , a s  $\dot{q}_1$  označimo toplinski tok koji s toka fluida  $\dot{m}_1$  prelazi na tok fluida  $\dot{m}_2$ . Očito je  $\dot{q}_1 + \dot{q}_2 = 0$ .<sup>1</sup> Kada je  $t_1 < t_2$  toplinski tok  $\dot{q}_2$  je pozitivan, a  $\dot{q}_1$  negativan. Za  $t_1 > t_2$ , situacija je obrnuta, toplinski tok  $\dot{q}_1$  je pozitivan, a  $\dot{q}_2$  negativan.

1 - U [2] oznake za  $\dot{q}_1$  i  $\dot{q}_2$  su zamijenjene u odnosu na oznake u ovom radu.

### 3. MATEMATIČKI IZRAZI RAZMATRANOG SUSTAVA

Matematički model razmatranog sustava je izveden u [2]. Lako se pokaže da je  $t = \alpha t_1 + (1 - \alpha)t_2$ . Očito da je  $\min\{t_1, t_2\} \leq t \leq \max\{t_1, t_2\}$ .

Nadalje (vidi [2].) imamo da je:

$$\dot{Q}_3 = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 = \dot{d}_1 + \dot{d}_2 = (T - t)\dot{m}c, \quad (1)$$

$$\dot{d}_1 = \dot{m}_1(T - t)c = \alpha(T - t)\dot{m}c = \alpha\dot{Q}_3, \quad (2)$$

$$\dot{d}_2 = \dot{m}_2(T - t)c = (1 - \alpha)(T - t)\dot{m}c = (1 - \alpha)\dot{Q}_3, \quad (3)$$

$$\dot{q}_1 = \dot{m}_2(t - t_2)c = (1 - \alpha)(t - t_2)\dot{m}c = \alpha(1 - \alpha)(t_1 - t_2)\dot{m}c = [(t_2 - t_1)\alpha^2 - (t_2 - t_1)\alpha]\dot{m}c. \quad (4)$$

$$\dot{q}_2 = \dot{m}_1(t - t_1)c = \alpha(t - t_1)\dot{m}c = \alpha(1 - \alpha)(t_2 - t_1)\dot{m}c = -\dot{q}_1 \quad (5)$$

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_1(T - t_1)c = \alpha(T - t + t - t_1)\dot{m}c = \dot{d}_1 + \dot{q}_2 = \dot{d}_1 - \dot{q}_1 \quad (6)$$

$$\dot{Q}_2 = \dot{m}_2(T - t_2)c = (1 - \alpha)(T - t + t - t_2)\dot{m}c = \dot{d}_2 + \dot{q}_1 = \dot{d}_2 - \dot{q}_2 \quad (7)$$

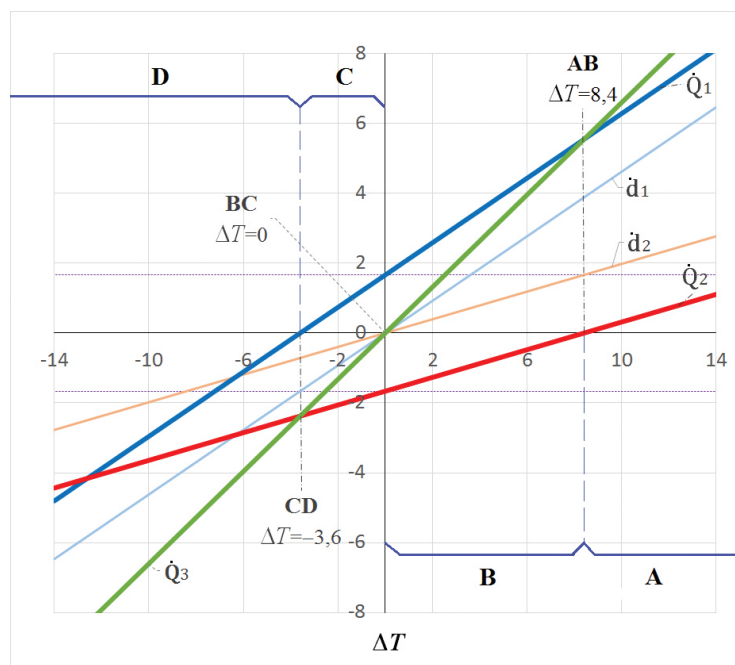
Primijetimo da su toplinski tokovi  $\dot{q}_1$  i  $\dot{q}_2$  kvadratne funkcije parametra troputnog ventila  $\alpha$ .

Uvedemo li oznake,  $\Delta T = T - t$  i  $\Delta t_{1,2} = t_2 - t_1$  imamo izraze za  $\dot{Q}_1$  i  $\dot{Q}_2$  kao funkcije od  $\alpha$ ,  $\Delta T$  i  $\Delta t_{1,2}$ :

$$\dot{Q}_1(\alpha, \Delta T, \Delta t_{1,2}) = [-\Delta t_{1,2}\alpha^2 + (\Delta t_{1,2} + \Delta T)\alpha]\dot{m}c = -\Delta t_{1,2}\alpha \left[ \alpha - \left( 1 + \frac{\Delta T}{\Delta t_{1,2}} \right) \right] \dot{m}c, \quad (8)$$

$$\dot{Q}_2(\alpha, \Delta T, \Delta t_{1,2}) = [\Delta t_{1,2}\alpha^2 - (\Delta t_{1,2} + \Delta T)\alpha + \Delta T]\dot{m}c = \Delta t_{1,2}(1 - \alpha) \left[ -\alpha + \frac{\Delta T}{\Delta t_{1,2}} \right] \dot{m}c \quad (9)$$

Dakle,  $\dot{Q}_1$  i  $\dot{Q}_2$  su kvadratne funkcije parametra  $\alpha$ , a linearne funkcije varijabli  $\Delta T$  i  $\Delta t_{1,2}$ . Ovisno o svim mogućim predznacima vrijednosti funkcij  $\dot{Q}_1$ ,  $\dot{Q}_2$  i  $\dot{Q}_3$  moguće je razlučiti nekoliko karakterističnih slučajeva (za slučaj  $\Delta t_{1,2} > 0$ , kada je  $\dot{m}c = 0,66$ ;  $\Delta t_{1,2} = 12$  i  $\alpha = 0,7$ ; vidi sliku 2.).



Slika 2. Toplinski tokovi  $\dot{Q}_1$ ,  $\dot{Q}_2$  i  $\dot{Q}_3$  kao funkcije od  $\Delta T$  i karakteristični slučajevi A, B, C i D za  $t_1 < t_2$

### 4. KARAKTERISTIČNI SLUČAJEVI PRIJENOSA ENERGIJE U RAZMATRANOM SUSTAVU

U [2] su definirana četiri moguća karakteristična slučaja A, B, C i D (za ilustraciju vidi sliku 2.) razmatranog sustava kada je  $t_1 < t_2$  i četiri moguća karakteristična slučaja A', B', C' i D' razmatranog sustava kada je  $t_1 > t_2$ . Uvjeti i situacije u kojim se oni pojavljuju dani su u slijedećoj tablici:

Tablica 1. Karakteristični slučajevi i uvjeti njihovih pojavljivanja

| Karakteristični slučajevi | Uvjet                                     |                     | Predznaci funkcija |             |             |             |             |
|---------------------------|---|---------------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                           |   |                     | $\dot{Q}_1$        | $\dot{Q}_2$ | $\dot{Q}_3$ | $\dot{q}_1$ | $\dot{q}_2$ |
| <b>A</b>                  | $0 < \alpha(t_2 - t_1) < \Delta T$        | $t_1 < t < t_2 < T$ | +                  | +           | +           | -           | +           |
| <b>B</b>                  | $0 < \Delta T < \alpha(t_2 - t_1)$        | $t_1 < t < T < t_2$ | +                  | -           | +           | -           | +           |
| <b>C</b>                  | $-(1 - \alpha)(t_2 - t_1) < \Delta T < 0$ | $t_1 < T < t < t_2$ | +                  | -           | -           | -           | +           |
| <b>D</b>                  | $\Delta T < -(1 - \alpha)(t_2 - t_1) < 0$ | $T < t_1 < t < t_2$ | -                  | -           | -           | -           | +           |
| <b>A'</b>                 | $0 < (1 - \alpha)(t_1 - t_2) < \Delta T$  | $t_2 < t < t_1 < T$ | +                  | +           | +           | +           | -           |
| <b>B'</b>                 | $0 < \Delta T < (1 - \alpha)(t_1 - t_2)$  | $t_2 < t < T < t_1$ | -                  | +           | +           | +           | -           |
| <b>C'</b>                 | $-\alpha(t_1 - t_2) < \Delta T < 0$       | $t_2 < T < t < t_1$ | -                  | +           | -           | +           | -           |
| <b>D'</b>                 | $\Delta T < -\alpha(t_1 - t_2) < 0$       | $T < t_2 < t < t_1$ | -                  | -           | -           | +           | -           |

Karakteristični slučajevi A, A', B i B' pojavljuju se kada se sustav zagrijava preko uređaja U3, tj. kada je  $\dot{Q}_3 > 0$  ( $\Delta T > 0, T > t$ ), a C, C', D i D' kada se sustav preko uređaja U3 hladi, tj. kada je  $\dot{Q}_3 < 0$  ( $\Delta T < 0, T < t$ ).

U slučaju grijanja sustava preko uređaja U3, kada je  $\dot{Q}_2 < 0$  (slučaj B) u uređaju U2 emitira se hladnoća, tj. energija topline ulazi, odnosno vraća se nazad, u sustav preko uređaja U2. Kada je  $\dot{Q}_1 < 0$  (slučaj B') u uređaju U1 se emitira hladnoća, tj. energija topline ulazi, odnosno vraća se nazad, u sustav preko uređaja U1.

Dakle, u slučaju zagrijavanja sustava preko uređaja U3, moguće je hlađenje uređaju U2 ili U1 (slučajevi B i B'), tj. moguće je da uređaj U3 ne zagrijava jedan od uređaja U1 i U2, nego ga hladi.

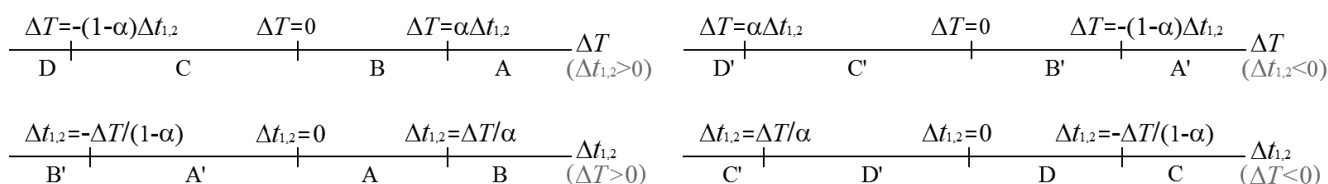
U ostalim slučajevima (A i A') funkcije  $\dot{Q}_1$  i  $\dot{Q}_2$  su pozitivne i na oba uređaja U1 i U2 se emitira toplina, s time da se u slučaju A dio topline iz uređaja U2 vraća u sustav i tako prelazi u uređaj U1, a u slučaju A' obrnuto.

U slučaju hlađenja sustava preko uređaja U3, kada je  $\dot{Q}_1 > 0$  (slučaj C) u uređaju U1 se emitira toplina, tj. energija hlađenja ulazi, odnosno vraća se nazad, u sustav preko uređaja U1. Kada je  $\dot{Q}_2 > 0$  (slučaj C') u uređaju U2 emitira se toplina, tj. energija hlađenja ulazi, odnosno vraća se nazad, u sustav preko uređaja U2.

Dakle, u slučaju hlađenja sustava preko uređaja U3, moguće je zagrijavanje uređaja U1 ili U2 (slučajevi C i C'), tj. moguće je da uređaj U3 ne hladi jedan od uređaja U1 i U2, nego ga zagrijava.

U ostalim slučajevima (D i D') funkcije  $\dot{Q}_1$  i  $\dot{Q}_2$  su negativne i na oba uređaja U1 i U2 se emitira hladnoća, s time da se u slučaju D dio hladnoće iz uređaja U1 vraća u sustav i tako prelazi u uređaj U2, a u slučaju D' obrnuto.

Slijedeći crteži prikazuju particije brojevnog pravca kada su na njemu vrijednosti za  $\Delta T$  i  $\Delta t_{1,2}$ .


 Slika 3. Particije brojevnog pravca na karakteristične slučajeve za različite vrijednosti  $\Delta T$  i  $\Delta t_{1,2}$ 

Iz dva crteža u prvom redu slike 3. vidimo da se interesantni 'problematični' karakteristični slučajevi B, B', C i C' javljaju kada apsolutne vrijednosti od  $\Delta T$  nisu dovoljno velike, to jest kada poprima vrijednosti iz intervala  $(-(1 - \alpha)\Delta t_{1,2}, \alpha\Delta t_{1,2})$  za  $\Delta t_{1,2} > 0$ , odnosno vrijednosti iz intervala  $(\alpha\Delta t_{1,2}, -(1 - \alpha)\Delta t_{1,2})$  za  $\Delta t_{1,2} < 0$ .

Također iz dva crteža u drugom redu vidimo da se isti 'problematični' karakteristični slučajevi pojavljuju kada su apsolutne vrijednosti od  $\Delta t_{1,2}$  dovoljno velike. Točnije kada  $\Delta t_{1,2}$  poprima vrijednosti iz unije intervala  $(-\infty, \frac{-\Delta T}{1-\alpha}) \cup (\frac{\Delta T}{\alpha}, +\infty)$  za  $\Delta T > 0$ , a vrijednosti iz  $(-\infty, \frac{\Delta T}{\alpha}) \cup (\frac{-\Delta T}{1-\alpha}, +\infty)$  za  $\Delta T < 0$ .

Dakle, 'problematični' karakteristični slučajevi B, B', C i C' se pojavljuju kada su vrijednosti od  $\Delta T$  i  $t$  međusobno dovoljno blizu, te kada su vrijednosti od  $t_1$  i  $t_2$  međusobno dovoljno daleko.

## 5. KALORIMETRI U RAZMATRANOM SUSTAVU

Definirajmo nenegativne funkcije:

$$\dot{Q}_i^+ = \begin{cases} \dot{Q}_i, & \dot{Q}_i > 0 \\ 0, & \dot{Q}_i \leq 0 \end{cases}, \quad \dot{Q}_i^- = \begin{cases} 0, & \dot{Q}_i \geq 0 \\ -\dot{Q}_i, & \dot{Q}_i < 0 \end{cases} \quad i = 1, 2, 3. \quad (10)$$

Dakle, za  $i=1,2,3$  vrijedi  $\dot{Q}_i = \dot{Q}_i^+ - \dot{Q}_i^-$ .

Neka se sustav promatra tijekom vremenskog intervala  $[0, \tau]$ , npr. jedan mjesec. Označimo s  $Q_3^+ = \int_0^\tau \dot{Q}_3^+ dt$  količinu energije grijanja, a s  $Q_3^- = \int_0^\tau \dot{Q}_3^- dt$  količinu energije hlađenja koja je u tom intervalu generirana na uređaju U3 ( $Q_3^+, Q_3^- > 0$ ). Za  $i=1,2$ , označimo s  $Q_i^+ = \int_0^\tau \dot{Q}_i^+ dt$  količinu energije grijanja, a s  $Q_i^- = \int_0^\tau \dot{Q}_i^- dt$  količinu energije hlađenja koju je u tom intervalu sustav predao, tj. koja se emitirala na uređaju  $U_i$  ( $Q_i^+, Q_i^- > 0$ ). Za  $i=1,2,3$  imamo da je:

$$Q_i = \int_0^\tau \dot{Q}_i dt = \int_0^\tau \dot{Q}_i^+ dt - \int_0^\tau \dot{Q}_i^- dt = Q_i^+ - Q_i^-. \quad (11)$$

$$Q_3^+ - Q_3^- = Q_3 = \int_0^\tau \dot{Q}_3 dt = \int_0^\tau \dot{Q}_1 dt + \int_0^\tau \dot{Q}_2 dt = Q_1 + Q_2 = (Q_1^+ + Q_2^+) - (Q_1^- + Q_2^-) \quad (12)$$

Dakle, imamo da je  $Q_3^+ - Q_3^- = (Q_1^+ + Q_2^+) - (Q_1^- + Q_2^-)$ , no općenito je  $Q_3^+ \neq (Q_1^+ + Q_2^+)$  i  $Q_3^- \neq (Q_1^- + Q_2^-)$ . Jednakosti  $Q_3^+ = (Q_1^+ + Q_2^+)$  i  $Q_3^- = (Q_1^- + Q_2^-)$  bi vrijedile samo ako ne bi bila moguća pojava karakterističnih slučajeva B, B', C i C', a to su slučajevi kada se u slučaju grijanja topliji od uređaja U1 i U2 hladi i u slučaju hlađenja hladniji od njih grije. Energija grijanja  $Q_i^+$  i energija hlađenja  $Q_i^-$  koje se odnose na interval, mjere se na kalorimetru  $K_i$ , gdje je  $i=1,2,3$ .

Promatrajmo slučaj zagrijavanja razmatranog sustava preko uređaja U3 tijekom intervala  $[0, \tau]$  (tj. za  $Q_3 > 0$ ). Tada iz (12) imamo da je  $Q_3 = Q_3^+ = (Q_1^+ + Q_2^+) - (Q_1^- + Q_2^-)$ . Općenito je tada dakle,  $Q_3^+ = Q_3 \leq Q_1^+ + Q_2^+$ .

Problem je kod kalorimetara s jednim brojačem koji ne mjere energiju hlađenja nego samo energiju grijanja. U praksi se krivo uzima da je energija grijanja izmjerena na K3 ( $Q_3^+$ ) jednaka sumi energija grijanja izmjerenih na K1 i K2, no vidimo da ona može biti i manja. U praksi se također krivo uzima da je sveukupna energija topline koju je uređaj U1 ili U2 preko sustava dobio od energije topline generirane u U3 jednaka  $Q_1^+$  odnosno  $Q_2^+$ . Zaboravlja se da se kod karakterističnih slučajeva B' i B unatoč zagrijavanju sustava na jednom od uređaja U1 i U2 emitira hladnoća, tj. da jedan od uređaja U1 i U2 vraća dobivenu energiju grijanja nazad u sustav. Ta energija jednaka je energiji emitirane hladnoće  $Q_1^-$  i  $Q_2^-$  na uređajima U1 i U2. Dakle, dio energije grijanja, generirane na U3, koji je utrošen za zagrijavanje uređaja U1 jednak je iznosu  $Q_1 = Q_1^+ - Q_1^-$ , a preostali dio koji je utrošen za zagrijavanje uređaja U2 jednak je iznosu  $Q_2 = Q_2^+ - Q_2^-$ . No, da bi se ti iznosi dobili potrebni su kalorimetri s dva brojača koji pored energije grijanja mjere i energiju hlađenja. Ukoliko je, u slučaju zagrijavanja sustava preko U3, tijekom intervala  $[0, \tau]$  moguće spriječiti pojavljivanje karakterističnih slučajeva B i B' tada je  $Q_1^- = Q_2^- = 0$  i nisu potrebni kalorimetri s dva brojača. Štoviše, budući da je  $Q_3 = Q_1 + Q_2$ , kalorimetar K3 nije potreban<sup>2</sup>.

U slučaju hlađenja sustava preko uređaja U3 tijekom intervala  $[0, \tau]$  (tj. za  $Q_3 < 0$ ) analognim rezoniranjem dolazimo do istog zaključka. Dio energije hlađenja generirane na U3 koji je utrošen za hlađenje uređaja U1 i U2 jednak je iznosu  $Q_1 = Q_1^+ - Q_1^-$ , odnosno  $Q_2 = Q_2^+ - Q_2^-$  i ukoliko, tijekom intervala  $[0, \tau]$ , nije moguće isključiti pojavljivanje karakterističnih slučajeva C i C' potrebni su kalorimetri s dva brojača. Ni u slučaju hlađenja sustava kalorimetar K3 nije potreban.

U slučaju mogućeg i grijanja i hlađenja sustava preko uređaja U3 tijekom intervala  $[0, \tau]$  situacija je kompliciranija. Neka nas odvojeno zanima koji dio generirane energije hlađenja u konačnici<sup>3</sup> izađe iz sustava preko uređaja U1 i U2, a koji dio generirane energije grijanja u konačnici izađe iz sustava preko uređaja U1 i U2 tijekom intervala  $[0, \tau]$ . Odgovorili na to pitanje ćemo dobiti ukoliko na uređajima U1 i U2 ugradimo dvostruke kalorimetre s dva brojača, tako da jedna par mjeri energiju grijanja i hlađenja u slučaju generiranja energije grijanja na U3, a drugi par kalorimetara mjeri energiju grijanja i hlađenja u slučaju generiranja energije hlađenja na U3.

2 - Pretpostavlja se da u intervalu toplinska energija ulazi samo preko uređaja U3.

3 - Misli se na razliku energija hlađenja koja je emitirana u uređaju  $U_i$  i one koja se u sustav vratila nazad.

## 6. ZAKLJUČAK

U slučaju kada je razlika ulazne i izlazne temperature na ulaznom uređaju (U3) u kojem se generira toplina/hladnoća dovoljno mala ili kada je razlika izlaznih temperatura na izlaznim uređajima (U1, U2) u kojima se emitira toplina/hlađenje (izlazeći iz sustava) dovoljno velika, moguć je povratak energije grijanja/hlađenja iz izlaznih uređaja nazad u sustav. Ukoliko su na izlaznim uređajima kalorimetri koji mjere samo energiju koja u njih ulazi u spomenutom slučaju nećemo moći izmjeriti energiju koja iz njih izlazi i vraća se nazad u sustav. Zabluda je u tom slučaju smatrati da je ono što ti kalorimetri pokazuju energija koja je preko izlaznih uređaja izašla iz sustava. U tom slučaju se dolazi do krivog zaključka da je preko izlaznih uređaja iz sustava izašlo više energije nego što je stvarno izašlo. Da bi izmjerili energiju koja se iz izlaznih uređaja vratila nazad u sustav potrebno je ugraditi i koristiti kalorimetre koji pored energije grijanja mjere i energiju hlađenja. Tada kao energiju grijanja/hlađenja koja je emitiranjem preko izlaznog uređaja izašla iz sustava treba uzeti razliku energije grijanja/hlađenja koja je u njega ušla i one koja je iz njega izašla a mjeri se kao energija hlađenja/grijanja.

## LITERATURA

- [1] Francišković, D.; Francišković, L.: *Analiza financijske učinkovitosti na primjeru energetski učinkovite stambene zgrade certificirane kao A+*, 16. hrvatska konferencija o kvaliteti i 7. znanstveni skup Hrvatskog društva za kvalitetu 19. – 21. svibnja 2016., Zbornik radova, Poreč, Hrvatska, 2016., 168-177
- [2] Francišković, D.: *Heat Energy Transfers Inside the Double Circular Flow Heating System*, WSEAS Transaction on Heat and Mass Transfer, Volumen 11 (2016) E-ISSN: 2224-3461, 107-114  
<http://www.wseas.org/multimedia/journals/heat/2016/a245812-168.pdf>
- [3] Andrassy, M.; Balen, I.; Boras, I.; Dović, D.; Hrs Borković, Ž.; Lenić, K.; Lončar, D.; Pavković, B.; Soldo, V.; Sučić, B.; Švaić, S.: *Handbook for buildings energy certification*, UNDP, Zagreb 2010.
- [4] Berkey, D. D.: *Single Variable Calculus*, CBS college Publishing, 1984.
- [5] Incropera, F. P.; DeWitt, D. P.; Bergman, T.L.: *Introduction to Heat Transfer*, Wiley, ISBN: 978-0471457275, London, 2006.
- [6] J. H. Lienhard, J. H. IV; Lienhard J. H. V: *A Heat Transfer Textbook*, Phlogiston Press, Cambridge, Massachusetts, U.S.A., 2016.
- [7] Mastny, P.; Moravek, J.; Pitron, J.: *Mathematical Modeling of Basic Parts of Heating Systems with Alternative Power Sources*, Recent advance in fluid mechanics and thermal engineering, the 13th International Conference on Heat Transfer, Thermal Engineering and Environment (HTE'15), Salerno, Italy June 27-29, 2015., 126-131.
- [8] Petrić, N.; Vojnović, I.; Martinac, V.: *Tehnička termodinamika*, Kemijsko-tehnološki fakultet u Splitu, Split, Croatia 2007.
- [9] Trüschel, A.: PhD thesis: *Hydronic heating system – The Effect of Design on System Sensitivity*, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden 2002.
- [10] A Technical Journal from Caleffi Hydronic Solutions: *Mixing in hydronic systems*, January 2007.

## THE CONDITIONS UNDER WHICH AN INTERPRETATION OF READINGS ON A CALORIMETER IS INCORRECT

**Summary:** *The paper describes the situation in which the difference of measured values on the calorimeter with one counter, at the beginning and end of a some time interval, does not has a value that is commonly understood that there is in usual situations. We consider the heating system consisting of two heating circuits. On a separate section of each of the heating circuit is one output heating device in which heat from the heating system is emitted. On the common part of two heating circuit there is an input device in which heat energy, entering the heating system, is generated. If we ignore the loss in heat transfer, sum of emitted heat at output devices must be equal to the heat energy generated in the input device. It has been shown that there is a condition under which the sum of the differences in the state of calorimeters at output devices, on the end and on the beginning of a time interval, is not equal to the difference in the state of calorimeters at input device at the end and the beginning of the same time interval, but it could be more. The paper proposed solution how to find the amount of heat energy that is leaving the system through output device.*

**Keywords:** transfer of heat energy, heating system, calorimeter, fluid flow, heat transfer rate