

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII  
UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI  
ȘCOALA DOCTORALĂ**

---

**CERCETĂRI PRIVIND EFICIENTIZAREA SISTEMELOR  
CENTRALIZATE DE ALIMENTARE CU ENERGIE TERMICĂ.  
SOLUȚII MODERNE SUSTENABILE. APLICABILITATEA  
NOULUI CONCEPT DE SISTEM DE ÎNCĂLZIRE DE JOASĂ  
TEMPERATURĂ**

- TEZĂ DE DOCTORAT –
  - REZUMAT-
- 

Conducător de doctorat  
Prof. univ. dr. ing. IORDACHE FLORIN

Student doctorand  
Ing. SECARĂ (STĂNIȘTEANU) CRISTINA ALICE

Iunie 2020

## Cuprins

|                                                                                                                                                                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>I Introducere</b>                                                                                                                                                                                            | <b>4</b>  |
| <i>I.1 Conceptul de „sistem centralizat de alimentare cu energie termică de temperatură scăzută”</i>                                                                                                            | 4         |
| <i>I.1.3 Utilizarea surselor regenerabile de energie</i>                                                                                                                                                        | 4         |
| <i>I.1.4 Conceptul de „rețele termice inteligente”</i>                                                                                                                                                          | 4         |
| <b>II Contextul național: sisteme centralizate de alimentare cu energie termică</b>                                                                                                                             | <b>5</b>  |
| <b>III Modelarea proceselor de transfer termic și transport al agenților termici. Comportamentul termic dinamic al consumatorilor</b>                                                                           | <b>6</b>  |
| <b>III.1. Reglarea furnizării căldurii</b>                                                                                                                                                                      | <b>6</b>  |
| <i>III.1.1 Concept</i>                                                                                                                                                                                          | 6         |
| <i>III.1.2 Metode de reglare a furnizării căldurii</i>                                                                                                                                                          | 6         |
| <i>III.1.3 Graficele de reglare a furnizării căldurii</i>                                                                                                                                                       | 6         |
| <b>IV Reabilitarea termică a clădirilor – consecințe energetice</b>                                                                                                                                             | <b>9</b>  |
| <i>IV.1 Efectul reabilitării termice a clădirilor</i>                                                                                                                                                           | 9         |
| <i>IV.2 Analiza funcțională și energetică</i>                                                                                                                                                                   | 10        |
| <b>V Influența temperaturii agentului termic asupra performanțelor energetice ale SACET</b>                                                                                                                     | <b>12</b> |
| <b>VI Cercetări experimentale în cadrul SACET. Calibrarea și validarea modelelor teoretice de simulare a comportamentului în regim de exploatare a sistemelor centralizate de alimentare cu energie termică</b> | <b>14</b> |
| <i>VI.1 Studiu de caz</i>                                                                                                                                                                                       | 15        |
| <b>VII Economii energetice obținute prin reabilitarea termică a anvelopei clădirilor în funcție de gradul de izolare termică</b>                                                                                | <b>18</b> |
| <b>VIII Economii energetice datorate reducerii temperaturii agentului termic în rețelele de distribuție</b>                                                                                                     | <b>21</b> |
| <b>IX Studiu de caz: Evaluarea reducerii pierderilor termice aferente unui consumator prin scăderea temperaturii agentului termic</b>                                                                           | <b>23</b> |
| <b>X Analiza schemelor de racordare a consumatorilor în vederea alimentării clădirilor reabilite cu agent termic de temperatură redusă</b>                                                                      | <b>25</b> |
| a. Scenariul (a): Unul sau mai multe puncte termice din sistemul centralizat alimentează exclusiv clădiri cu eficiență energetică ridicată                                                                      | 26        |
| b. Scenariul (b): Toți consumatorii alimentați dintr-o ramură a unui punct termic sunt clădiri cu eficiență energetică ridicată                                                                                 | 28        |
| c. Scenariul (c): punctul termic sau centrala termică de cartier alimentează atât clădiri cu eficiență energetică ridicată, cât și clădiri care încă nu au fost reabilite termic                                | 31        |
| <b>XI Alimentarea centralizată cu energie termică de joasă temperatură. Creșterea suprafeței de încălzire. Justificare energetică și economică</b>                                                              | <b>33</b> |
| <b>XII Concluzii</b>                                                                                                                                                                                            | <b>37</b> |
| <b>XIII Contribuții personale și posibilități de continuare a cercetărilor</b>                                                                                                                                  | <b>39</b> |
| <b>XIV Simboluri și abrevieri</b>                                                                                                                                                                               | <b>40</b> |



## I Introducere

Directiva (2010/31/UE) privind performanța energetică a clădirilor precizează că „este necesar ca rata renovărilor de clădiri să crească, deoarece parcul imobiliar existent constituie sectorul cu cel mai mare potențial de economisire a energiei”, în timp ce Directiva privind eficiența energetică (2012/27/UE) menționează că „clădirile sunt responsabile pentru 40% din totalul consumului de energie în Uniunea Europeană”.

### I.1 Conceptul de „sistem centralizat de alimentare cu energie termică de temperatură scăzută”

Este cunoscut faptul că reabilitarea termică a clădirilor are ca scop reducerea pierderilor de căldură prin elementele de construcție, ducând la o importantă reducere a necesarului de căldură pentru încălzirea clădirii. Alimentarea clădirilor reabilite termic cu agent termic la aceiași parametri la care au fost alimentate anterior reabilitării conduce la performanțe scăzute ale sistemelor centralizate de alimentare cu căldură. În scopul eficientizării sistemelor centralizate de încălzire, se poate merge mai departe în lanțul energetic, furnizându-se agent termic pentru încălzire la parametri termici scăzuți, reducându-se pierderile de căldură în rețelele termice, fără a se face nicio investiție în vederea reabilitării acestora. Pe măsură ce numărul clădirilor reabilite termic va crește din ce în ce mai mult, noul sistem trebuie să ia locul celui actual, conducând la importante economii de energie și la îmbunătățirea performanțelor energetice ale sistemelor centralizate de alimentare cu energie termică.

### I.1.3 Utilizarea surselor regenerabile de energie

Funcționarea sistemelor centralizate de încălzire cu agent termic de joasă temperatură a deschis calea utilizării unei multitudini de surse de energie termică, considerate anterior necorespunzătoare pentru acest scop:

- căldura reziduală de parametri scăzuți de la procesele energetice sau industriale;
- căldura recuperată din diverse procese, de la centrele de date (serve), etc.;
- sursele regenerabile de energie:
  - panouri termice solare
  - energie geotermală
  - pompe de căldură
  - căldură produsă prin transformarea energiei electrice în exces (panouri fotovoltaice, turbine eoliene)
  - cogenerare prin utilizarea biomasei sau biogazului

### I.1.4 Conceptul de „rețele termice inteligente”

Directiva 2010/31/UE prevede ca performanța energetică a clădirilor nou-construite să fie și mai ridicată decât în prezent, și anume clădirile noi vor trebui să aibă un consum de energie aproape

zero. Dar chiar și acest consum extrem de redus de energie va trebui acoperit cu energie din surse regenerabile. Aceste noi clădiri vor trebui să fie dotate cu tehnologii de producere a energiei din surse regenerabile (pompe de căldură, panouri fotovoltaice, panouri termice solare sau turbine eoliene). Aceste clădiri vor fi în același timp consumatori și producători de energie termică. În unele perioade, cantitatea de energie termică produsă va fi mai mare decât cea consumată, iar căldura în exces va fi utilizată de alte clădiri. În rețea vor fi prezente surse distribuite de energie având diferite niveluri de temperatură. Pe de altă parte, o parte dintre consumatori vor furniza energie termică în sistem – rețeaua unidirecțională trebuie să devină bi-direcțională. Energia termică trebuie produsă când este disponibilă, dar sistemul trebuie să acopere întotdeauna cererea, deci rețeaua trebuie să dispună de tehnologii de stocare a căldurii. Pentru ca acest sistem complex să funcționeze, și să funcționeze cu maximum de eficiență, este necesar ca rețelele termice actuale să facă obiectul unor schimbări majore: să devină "inteligente". Astfel s-a născut conceptul de „*rețele termice inteligente*”.

Experții vorbesc deja de sistemele energetice inteligente ale viitorului, bazate pe soluții integrate electric-termic-gaz, respectiv de integrarea rețelelor inteligente electrice, termice și de gaze în scopul asigurării eficienței maxime în domeniul energetic, respectiv a eficienței maxime globale a sistemelor de producere, transport, distribuție și utilizare a energiei.

## **II Contextul național: sisteme centralizate de alimentare cu energie termică**

Conform primei versiuni a „*Strategiei Energetice a României 2016 – 2030, cu perspectiva anului 2050*”, transmisă în anchetă publică, „Dintr-un total de aproximativ 7,5 milioane de locuințe ocupate permanent, 1,25 milioane beneficiază de încălzire prin sisteme de alimentare centralizată.” [90]

În noua Strategie energetică se precizează faptul că atingerea țintelor de reabilitare termică a blocurilor de locuințe în orașele încălzite prin sisteme centralizate va determina o scădere considerabilă a necesarului de energie termică. Din acest motiv, reabilitarea rețelelor termice și dimensionarea surselor de căldură trebuie corelate cu evoluția cererii de energie termică.

Conform *Strategiei pentru mobilizarea investițiilor în renovarea fondului de clădiri rezidențiale și comerciale, atât publice cât și private, existente la nivel național*, „consumul de energie în sectorul clădirilor (locuințe, sectorul terțiar, inclusiv clădiri publice) reprezintă 45% din consumul total de energie”. [91] Programul Operațional Regional 2014-2020 precizează că „potențialul de economisire în clădiri este semnificativ, situându-se în intervalul de aproximativ 40-50% în cazul clădirilor publice, prin promovarea reabilitării energetice profunde (deep renovation), respectiv cu mai mult de 40% cu diferențe de la o zonă climatică la alta în cadrul țării, pentru clădirile rezidențiale”. În acest context, subiectul prezentei lucrări merge mai departe în lanțul eficienței energetice, urmărind îmbunătățirea eficienței energetice a sistemelor centralizate care alimentează clădiri reabilitate termic prin reducerea temperaturii agentului termic.

### **III Modelarea proceselor de transfer termic și transport al agenților termici. Comportamentul termic dinamic al consumatorilor**

#### **III.1. Reglarea furnizării căldurii**

##### III.1.1 Concept

Reglarea furnizării căldurii reprezintă ansamblul de măsuri și operații care urmăresc modificarea cantității de căldură livrate consumatorilor, astfel încât aceasta să fie cât mai apropiată de necesitățile reale ale acestora. Reglarea furnizării căldurii este un proces complex care implică măsuri care se iau în sursa de producere a energiei termice (reglare centrală, primară), în punctele termice (reglare secundară) și la consumator (reglare terțiară, locală).

În cadrul sistemelor mari de alimentare cu energie termică, reglarea furnizării căldurii este un proces complex, pe mai multe niveluri, întrucât aspectele multiple de care trebuie să se țină cont nu pot fi rezolvate printr-un singur proces de reglare.

##### III.1.2 Metode de reglare a furnizării căldurii

Reglarea furnizării căldurii în sistemele centralizate se poate face în trei moduri: prin reglaj calitativ, cantitativ sau mixt (calitativ-cantitativ).

Reglarea calitativă a cantității de căldură furnizate de sistem se face prin modificarea temperaturii agentului termic în conductele de ducere și de întoarcere, păstrând constant debitul de agent vehiculat în sistem.

Reglarea cantitativă a furnizării căldurii se bazează pe menținerea constantă a temperaturii pe conducta de ducere a sistemului și modificarea debitului de agent vehiculat în sistem.

Reglarea mixtă (calitativ-cantitativă) a furnizării căldurii constă în variația continuă sau în trepte atât a debitului, cât și a temperaturii agentului termic. Reglarea mixtă constituie soluția cea mai elastică de urmărire generală și locală a variațiilor necesarului de căldură pentru încălzirea clădirilor în marile sisteme de termoficare. [93]

##### III.1.3 Graficele de reglare a furnizării căldurii

Graficele de reglare a furnizării căldurii se întocmesc în scopul stabilirii regimului termic de funcționare a surselor de producere a căldurii, a stațiilor de transformare a parametrilor (puncte termice) și a instalațiilor de încălzire din clădiri. Curbele de reglaj termic calitativ reprezintă dependența care trebuie realizată între temperatura de intrare a agentului termic și parametrii climatici. [95]

Considerăm o clădire racordată la un sistem centralizat de alimentare cu energie termică format din sursă de căldură, rețele termice de transport, puncte termice și rețele de distribuție.

În condiții nominale, necesarul de căldură de calcul pentru încălzirea unei clădiri este următorul:

$$\dot{Q}_0 = H \cdot (t_{i0} - t_{e0}) \quad (\text{III.1})$$

În condiții nominale, bilanțul termic al instalației de încălzire centrală se scrie sub forma:

$$\dot{Q}_0 = G_0 \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{i0} - t_{r0}) = k \cdot S \cdot \Delta t_{m/0} \quad [96] \quad (\text{III.2})$$

Diferența medie logaritmică de temperatură dintre agentul termic secundar (vehiculat prin corpurile de încălzire) și aerul interior din încăperile încălzite se calculează cu formula:

$$\Delta t_{m/0} = t_{m/0} - t_{i0} = \frac{\Delta t_M - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_M}{\Delta t_m}} = \frac{(t_t - t_{i0}) - (t_r - t_{i0})}{\ln \frac{t_t - t_{i0}}{t_r - t_{i0}}} = \frac{t_t - t_r}{\ln \frac{t_t - t_{i0}}{t_r - t_{i0}}} \quad (\text{III.3})$$

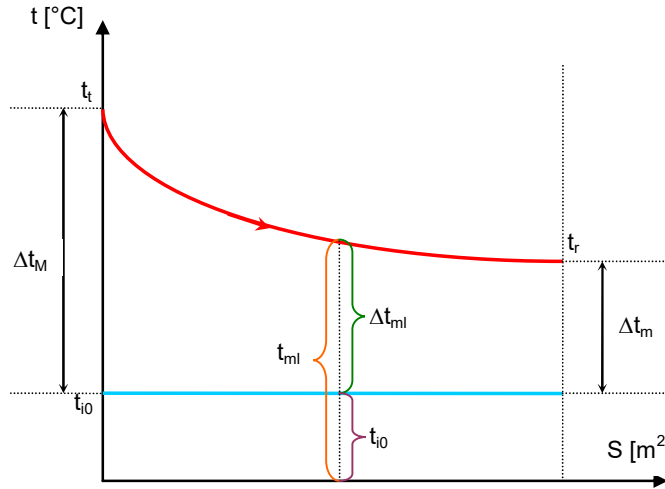


Figura III.1 Schimbul de căldură la nivelul corpurilor de încălzire (între agentul termic secundar și aerul interior)

Din relațiile (II.2) și (II.3) rezultă:

$$NTU = \frac{k \cdot S}{G_0 \cdot \rho \cdot c} = \ln \frac{t_t - t_{i0}}{t_r - t_{i0}} \quad (\text{III.4})$$

Notăm cu E:

$$E = \exp(-NTU) = \frac{t_r - t_{i0}}{t_t - t_{i0}} \quad (\text{III.5})$$

Astfel, relația dintre temperatura pe conducta de tur și cea de pe conducta de retur a sistemului de distribuție devine:

$$t_r = E \cdot t_t + (1 - E) \cdot t_{i0} \quad (\text{III.6})$$

Înlocuind (III.6) în relația (III.2), obținem:

$$\dot{Q}_0 = G_0 \cdot \rho \cdot c \cdot (t_t - t_r) = G_0 \cdot \rho \cdot c \cdot (1 - E) \cdot (t_t - t_{i0}) \quad (\text{III.7})$$

Din relațiile (III.1) și (III.7) obținem formulele pentru variația temperaturilor pe conductele de ducere și de întoarcere ale rețelei de distribuție în cazul reglajului calitativ al furnizării căldurii, sub forma:

$$t_t = \left[ 1 + \frac{H}{G_0 \cdot (1 - E) \cdot \rho \cdot c} \right] \cdot t_{i0} - \frac{H}{G_0 \cdot (1 - E) \cdot \rho \cdot c} \cdot t_e \quad (\text{III.8})$$

$$t_r = \left[ 1 + \frac{E \cdot H}{G_0 \cdot (1-E) \cdot \rho \cdot c} \right] \cdot t_{i0} - \frac{E \cdot H}{G_0 \cdot (1-E) \cdot \rho \cdot c} \cdot t_e \quad (\text{III.9})$$

În condiții nominale, avem temperatura exterioară de calcul  $t_{e0}$ , căreia îi corespunde temperatura nominală (maximă) a agentului termic pe conducta de ducere  $t_{i0}$ . Pentru condițiile nominale, din relațiile (III.1) și (III.7) rezultă:

$$G_0 \cdot \rho \cdot c \cdot (1-E) \cdot (t_{i0} - t_{i0}) = H \cdot (t_{i0} - t_{e0}) \quad (\text{III.10})$$

Deci:

$$\frac{H}{G_0 \cdot \rho \cdot c \cdot (1-E)} = \frac{t_{i0} - t_{i0}}{t_{i0} - t_{e0}} \quad (\text{III.11})$$

Introducând (III.11) în relațiile (III.8) și (III.9), se obțin formulele pentru variația temperaturilor pe conductele de ducere și de întoarcere ale rețelei de distribuție în cazul reglajului calitativ al furnizării căldurii în funcție de temperaturile agentului termic în condiții nominale ( $t_{i0}$  și  $t_{r0}$ ), de temperatura interioară  $t_{i0}$  și de temperatura exterioară de calcul ( $t_{e0}$ ):

$$t_t = \left( 1 + \frac{t_{i0} - t_{i0}}{t_{i0} - t_{e0}} \right) \cdot t_{i0} - \frac{t_{i0} - t_{i0}}{t_{i0} - t_{e0}} \cdot t_e \quad (\text{III.12})$$

$$t_r = \left( 1 + \frac{t_{r0} - t_{i0}}{t_{i0} - t_{e0}} \right) \cdot t_{i0} - \frac{t_{r0} - t_{i0}}{t_{i0} - t_{e0}} \cdot t_e \quad (\text{III.13})$$

La determinarea relațiilor utilizate pentru stabilirea variației temperaturii agentului termic pe conductele de tur și de retur am considerat că modulul termic al instalației de încălzire  $E$  este constant și are valoarea nominală  $E_0$ . În realitate, modulul termic al instalației de încălzire  $E$ , prin modul în care a fost definit, depinde de numărul de unități de transfer termic NTU:

$$E_0 = \exp(-NTU_0) = \exp\left(-\frac{k_0 \cdot S}{G_0 \cdot \rho \cdot c}\right) = \frac{t_{r0} - t_{i0}}{t_{i0} - t_{i0}} \quad (\text{III.5'})$$

Am considerat că acesta este constant și egal cu valoarea nominală  $NTU_0$ . NTU este definit în funcție de  $k$  (coeficientul global de transfer termic), care a fost considerat constant și egal cu valoarea nominală  $k_0$ .

$$NTU_0 = \frac{k_0 \cdot S}{G_0 \cdot \rho \cdot c} = \ln \frac{t_{i0} - t_{i0}}{t_{r0} - t_{i0}} \quad (\text{III.4'})$$

În realitate,  $k$  nu este constant și depinde (prin coeficientul de transfer termic convectiv) de temperatura medie logaritmică a agentului termic. În concluzie, expresiile pentru calculul valorilor temperaturii agentului termic pe tur și pe retur trebuie corectate pentru a include acest aspect. Acest lucru se face printr-un calcul iterativ, care presupune re-calcularea valorilor temperaturilor, actualizând în același timp valoarea coeficientului global de schimb de căldură  $k$ . Calculul iterativ este rapid convergent, obținându-se valorile căutate după numai 3-4 iterații. [97]

În relațiile (III.8) și (III.9) înmulțim și împărțim ambii termeni ai relației cu  $(1-E_0)$ :

$$t_t = \left[ 1 + \frac{H}{G_0 \cdot (1 - E_0) \cdot \rho \cdot c} \cdot \frac{1 - E_0}{1 - E} \right] \cdot t_{i0} - \frac{H}{G_0 \cdot (1 - E_0) \cdot \rho \cdot c} \cdot \frac{1 - E_0}{1 - E} \cdot t_e \quad (\text{III.14})$$

$$t_r = \left[ 1 + \frac{E_0 \cdot H}{G_0 \cdot (1 - E_0) \cdot \rho \cdot c} \cdot \frac{E}{E_0} \cdot \frac{1 - E_0}{1 - E} \right] \cdot t_{i0} - \frac{E_0 \cdot H}{G_0 \cdot (1 - E_0) \cdot \rho \cdot c} \cdot \frac{E}{E_0} \cdot \frac{1 - E_0}{1 - E} \cdot t_e \quad (\text{III.15})$$

Din relația (III.11) rezultă:

$$t_t = \left[ 1 + \frac{t_{i0} - t_{e0}}{t_{i0} - t_{e0}} \cdot \frac{1 - E_0}{1 - E} \right] \cdot t_{i0} - \frac{t_{i0} - t_{e0}}{t_{i0} - t_{e0}} \cdot \frac{1 - E_0}{1 - E} \cdot t_e \quad (\text{III.16})$$

$$t_r = \left[ 1 + \frac{t_{r0} - t_{i0}}{(t_{i0} - t_{e0})} \cdot \frac{E}{E_0} \cdot \frac{1 - E_0}{1 - E} \right] \cdot t_{i0} - \frac{t_{r0} - t_{i0}}{t_{i0} - t_{e0}} \cdot \frac{E}{E_0} \cdot \frac{1 - E_0}{1 - E} \cdot t_e \quad (\text{III.17})$$

Pentru o valoare a temperaturii exterioare  $t_e$  diferită de cea nominală  $t_{e0}$ , calculăm valorile temperaturilor agentului termic pe conductele de tur și de retur, utilizând relațiile determinate anterior. Apoi calculăm valoarea diferenței medii logaritmice de temperatură  $\Delta t_{ml}$ .

În expresia modului termic  $E$  (5) înmulțim și împărțim cu  $k_0$  și obținem:

$$E = \exp(-NTU) = \exp\left(-\frac{k \cdot S}{G_0 \cdot \rho \cdot c}\right) = \exp\left(-\frac{k_0 \cdot S}{G_0 \cdot \rho \cdot c} \cdot \frac{k}{k_0}\right) = E_0^{\frac{k}{k_0}} \quad (\text{III.18})$$

Conform unei relații stabilite experimental:

$$\frac{k}{k_0} = \left( \frac{\Delta t_{ml}}{\Delta t_{ml0}} \right)^{0,3} \quad (\text{III.19})$$

În acest fel determinăm valoarea lui  $E$ , pe care o utilizăm pentru a relua calculul. Obținem noi valori pentru temperaturile pe conductele de tur și de retur  $t_t$  și  $t_r$  și pentru diferența medie logaritmice de temperatură  $\Delta t_{ml}$ . Calculul se reia până când se obțin valori apropiate sau identice pentru  $t_t$  și  $t_r$ .

#### IV Reabilitarea termică a clădirilor – consecințe energetice

##### IV.1 Efectul reabilitării termice a clădirilor

Una dintre premisele care stau la baza stabilirii curbelor de reglare a furnizării căldurii este aceea că în calcul se consideră că valorile coeficienților de transfer de căldură prin elementele de construcții nu prezintă modificări importante în condițiile curente față de valorile nominale (de calcul). Acest lucru înseamnă că graficele de reglare a furnizării căldurii în regim calitativ care sunt utilizate în prezent în exploatarea sistemelor centralizate de alimentare cu căldură sunt realizate ținând cont de necesarul de căldură al clădirilor la momentul când acestea au fost construite. Având în vedere că, în ultimii ani, o parte din clădirile alimentate de sistemele centralizate de alimentare cu căldură au fost reabilite din punct de vedere energetic, valorile coeficienților de transfer de căldură prin elementele de construcții prezintă modificări importante în cazul acestor clădiri față de momentul când acestea au fost proiectate.

În cazul în care clădirile cu performanță energetică ridicată ar fi alimentate din sistemele centralizate de alimentare cu căldură prin ramuri separate de ceilalți consumatori, care nu au fost reabilitați termic, graficele de reglare a furnizării căldurii ar trebui corectate, astfel încât să țină seama de reducerea necesarului de căldură al acestor consumatori. Presupunând că relațiile anterioare au fost determinate pe baza valorii nominale a coeficientului complex de cuplaj termic prin anvelopa clădirii ( $H_0$ ), iar valoarea actuală a acestui coeficient, în cazul clădirilor reabilitate termic, este  $H$ , relațiile (III.14) și (III.15) se pot scrie sub forma:

$$t_t = \left[ 1 + \frac{H_0}{G_0 \cdot (1 - E_0) \cdot \rho \cdot c} \cdot \frac{1 - E_0}{1 - E} \cdot \frac{H}{H_0} \right] \cdot t_{i0} - \frac{H_0}{G_0 \cdot (1 - E_0) \cdot \rho \cdot c} \cdot \frac{1 - E_0}{1 - E} \cdot \frac{H}{H_0} \cdot t_e \quad (IV.1)$$

$$t_r = \left[ 1 + \frac{E_0 \cdot H_0}{G_0 \cdot (1 - E_0) \cdot \rho \cdot c} \cdot \frac{E}{E_0} \cdot \frac{1 - E_0}{1 - E} \cdot \frac{H}{H_0} \right] \cdot t_{i0} - \frac{E \cdot H_0}{G_0 \cdot (1 - E_0) \cdot \rho \cdot c} \cdot \frac{E}{E_0} \cdot \frac{1 - E_0}{1 - E} \cdot \frac{H}{H_0} \cdot t_e \quad (IV.2)$$

Din relația (III.11) rezultă:

$$t_t = \left[ 1 + \frac{t_{i0} - t_{e0}}{t_{i0} - t_{e0}} \cdot \frac{1 - E_0}{1 - E} \cdot \frac{H}{H_0} \right] \cdot t_{i0} - \frac{t_{i0} - t_{e0}}{t_{i0} - t_{e0}} \cdot \frac{1 - E_0}{1 - E} \cdot \frac{H}{H_0} \cdot t_e \quad (IV.3)$$

$$t_r = \left[ 1 + \frac{t_{r0} - t_{i0}}{(t_{i0} - t_{e0})} \cdot \frac{E}{E_0} \cdot \frac{1 - E_0}{1 - E} \cdot \frac{H}{H_0} \right] \cdot t_{i0} - \frac{t_{r0} - t_{i0}}{t_{i0} - t_{e0}} \cdot \frac{E}{E_0} \cdot \frac{1 - E_0}{1 - E} \cdot \frac{H}{H_0} \cdot t_e \quad (IV.4)$$

În cazul în care clădirea nu a fost reabilitată din punct de vedere termic, raportul  $H/H_0$  este egal cu 1, valorile temperaturii agentului termic pe conductele de tur și de retur sunt cele din Tabelul IV.1, iar graficul de reglare a furnizării căldurii este cel prezentat în Figura IV.1.

În cazul în care clădirea a fost reabilitată termic, valorile temperaturii agentului termic pe conductele de tur și de retur trebuie recalculate utilizând relațiile (IV.3) și (IV.4), iar graficele trebuie corectate în conformitate cu noile valori obținute.

#### IV.2 Analiza funcțională și energetică

În cadrul acestei lucrări s-a făcut un studiu de caz pentru o clădire amplasată în zona climatică 2, având un consum energetic orar de 1 MW la temperatura exterioară de calcul de  $-15^\circ\text{C}$ . S-au considerat trei grade diferite de reabilitare a clădirii alimentate, corespunzătoare unor rapoarte  $H/H_0$  de 0,8, 0,6 și 0,4.

Utilizând relațiile prezentate, s-au calculat fluxurile termice transmise de instalația de încălzire spațiului încălzit, considerându-se că acestea sunt egale cu pierderile de căldură de la spațiul încălzit către mediul exterior. În acest scop, au fost stabilite temperaturile agentului termic și temperatura interioară din spațiul încălzit.

S-a analizat reducerea consumurilor energetice anuale ca efect al celor două tipuri de măsuri prezentate anterior, și anume:

- reabilitarea termică a clădirilor (prin reducerea coeficientului complex de cuplaj termic prin

anvelopa clădirii,  $H$ )

- adaptarea temperaturii nominale a agentului termic primar și secundar la noul necesar de căldură aferent clădirii reabilitate termic, în funcție de gradul de reabilitare.

Primul caz analizat a fost cel al clădirii nereabilitate termic, alimentate cu agent termic pentru încălzire având o temperatură care respectă graficul de reglare a furnizării căldurii determinat la proiectarea clădirii.

Al doilea caz analizat a fost cel al clădirii reabilitate din punct de vedere termic, a cărei alimentare cu energie termică pentru încălzire din sistemul centralizat se face cu agent termic de temperatură corespunzătoare clădirii nereabilitate (situația de funcționare actuală a tuturor clădirilor reabilitate termic alimentate din sisteme centralizate din România).

Cel de-al treilea caz studiat a fost acela în care la încălzirea clădirii reabilitate termic se utilizează agent termic de temperatură corespunzătoare asigurării unei temperaturi interioare conforme cu normativele în vigoare. În acest scop s-au determinat temperaturile agentului termic (tur-retur) care să determine această temperatură interioară și s-a întocmit un nou grafic de reglare a furnizării căldurii, corespunzător clădirii reabilitate termic (graficul corectat de reglaj termic calitativ).

Pentru o clădire având, anterior reabilitării, un consum de energie termică pentru încălzire de 1 MW, anveloparea termică a clădirii, însoțită de furnizarea de agent termic de temperatură scăzută, conduce la reducerea consumurilor energetice anuale pentru încălzire de circa 20% în cazul  $H/H_0=0,8$ , de circa 40% în cazul  $H/H_0=0,6$  și de circa 60% în cazul  $H/H_0=0,4$ . Aceste beneficii pot fi obținute cu eforturi minime de investiție. Pentru o evidențiere mai clară a reducerii consumurilor energetice, s-au construit graficele care reprezintă consumurile energetice ale clădirii în cele trei situații analizate, pentru trei grade de reabilitare termică a anvelopei:  $H/H_0 = 0,4$ ,  $H/H_0 = 0,6$  și  $H/H_0 = 0,8$  (Figura IV.11).

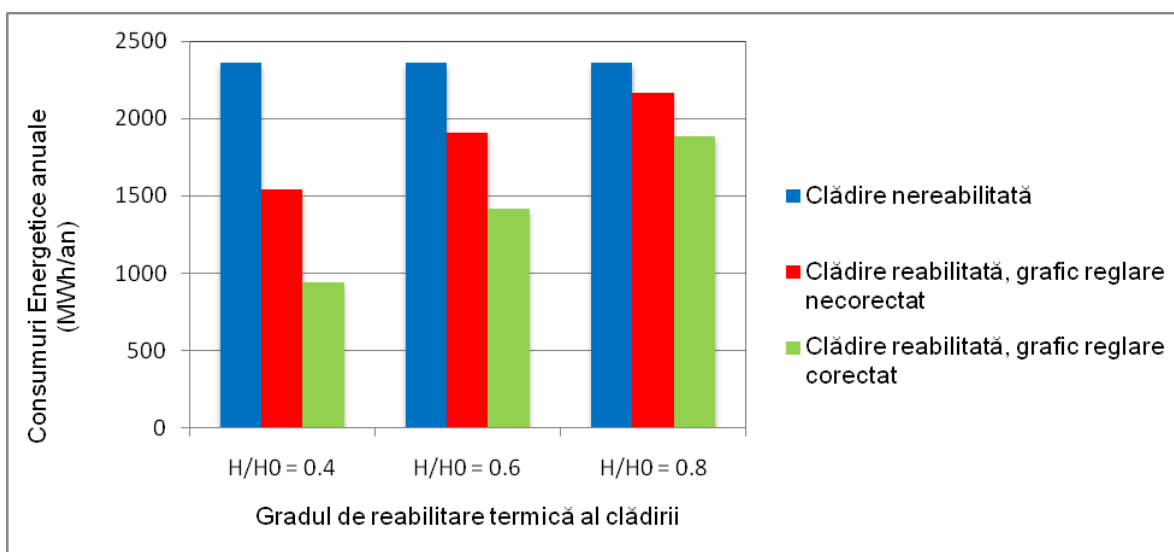


Figura IV.11 Consumurile anuale de energie termică pentru încălzire în cele trei scenarii studiate [100]

Din Figura IV.11 se observă reducerea consumului anual de energie termică pentru încălzirea clădirii cu un necesar de căldură inițial de 1 MW în cazul reabilitării termice a clădirii și în cazul reabilitării termice a clădirii însoțite de corectarea graficului de reglaj calitativ centralizat al căldurii. S-au prezentat distinct diferite grade de reabilitare termică a anvelopei clădirii ( $H/H_0 = 0,4$ ,  $H/H_0 = 0,6$  și  $H/H_0 = 0,8$ ).

În Figura IV.12 este ilustrată economia anuală de energie termică pentru încălzirea clădirii cu un necesar de căldură inițial de 1 MW în cazul reabilitării termice a clădirii și în cazul reabilitării termice a clădirii însoțite de corectarea graficului de reglaj calitativ centralizat al căldurii. Au fost reprezentate distinct diferite grade de reabilitare termică a anvelopei clădirii ( $H/H_0 = 0,4$ ,  $H/H_0 = 0,6$  și  $H/H_0 = 0,8$ ).

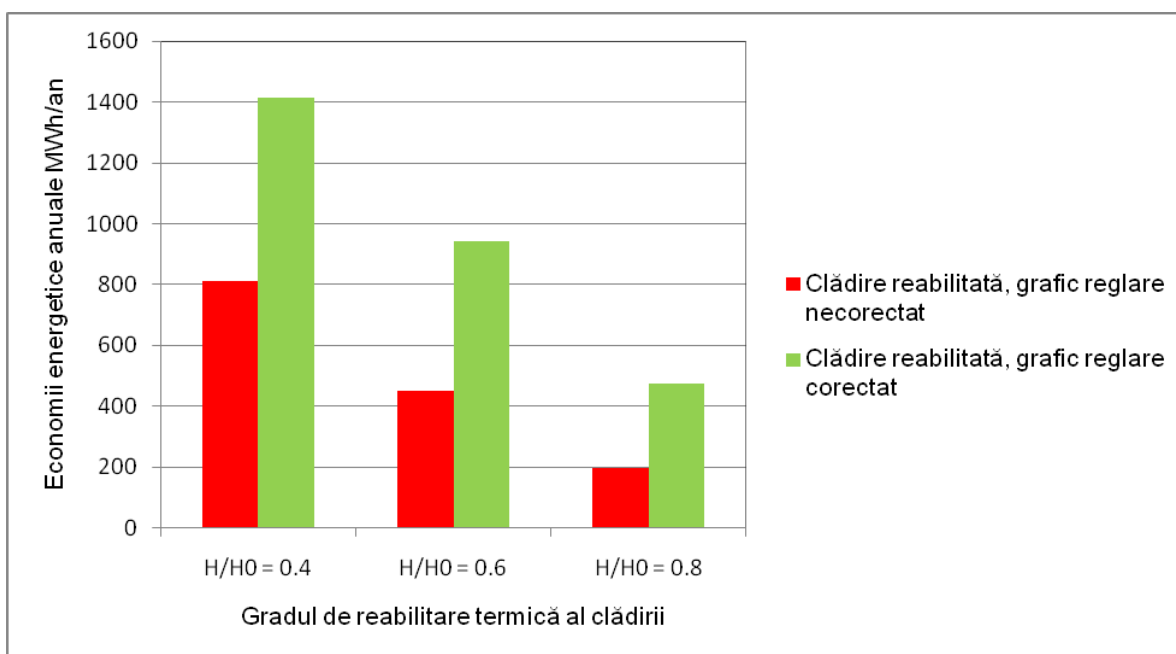


Figura IV.12 Economii anuale de energie termică pentru încălzire în cele trei scenarii studiate [100]

## V Influența temperaturii agentului termic asupra performanțelor energetice ale SACET

În prezentul capitol s-a efectuat o analiză privind influența reducerii temperaturilor agentului termic asupra randamentului sistemelor centralizate de alimentare cu energie termică.

În vederea evaluării randamentului unui sistem centralizat de încălzire s-au folosit relațiile următoare [102]:

$$\eta = \frac{Q_C}{Q_{sursa}} = \frac{E_R \cdot (1 - E_C)}{1 - E_R^2 \cdot E_C} \quad (V.1)$$

$$E_R = \exp\left(-\frac{1}{\rho \cdot c} \cdot \frac{L}{R \cdot G}\right) \quad (V.2)$$

$$E_C = \exp\left(-\frac{1}{\rho \cdot c} \cdot \frac{k \cdot S}{G}\right) \quad (\text{V.3})$$

$$E_C = \frac{t_r - t_i}{t_i - t_i} \quad (\text{V.4})$$

$$E'_C = \frac{t_R - t_r}{t_T - t_i} \quad (\text{V.5})$$

În Tabelul V.2 și Figura V.1 sunt prezentate valorile randamentului unui sistem de distribuție pentru diferite valori ale temperaturilor nominale ale agentului termic:

Tabelul V.2 Randamentul unui sistem de distribuție pentru diferite valori ale temperaturilor nominale ale agentului termic

| $t_t$ [°C] | $t_r$ [°C] | $t_i$ [°C] | $E_C$ [-] | $E_R$ [-] | $\eta_{SD}$ [-] |
|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------------|
| 90,0       | 70,0       | 20         | 0,714     | 0,98      | 0,89            |
| 80,0       | 60,0       | 20         | 0,667     | 0,98      | 0,91            |
| 70,0       | 50,0       | 20         | 0,600     | 0,98      | 0,93            |
| 60,0       | 40,0       | 20         | 0,500     | 0,98      | 0,94            |
| 50,0       | 30,0       | 20         | 0,333     | 0,98      | 0,96            |

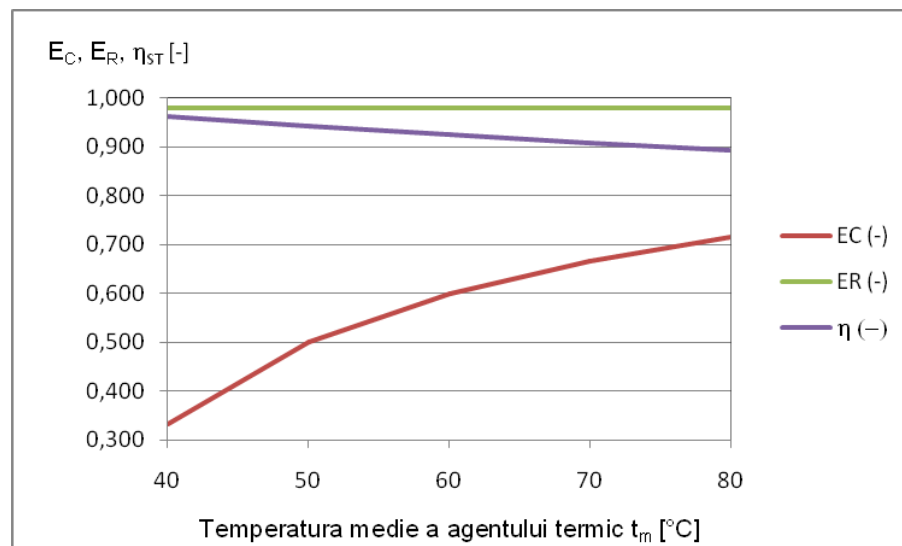


Figura V.1 Variația modului termic al instalației de încălzire și al rețelei termice și a randamentului sistemului de distribuție în funcție de temperaturile nominale ale agentului termic

Din Tabelul V.2 se observă faptul că randamentul unui sistem de distribuție este cu atât mai ridicat cu cât temperaturile nominale ale agentului termic de încălzire sunt mai scăzute.

O altă analiză efectuată a vizat determinarea randamentului sistemelor de încălzire în situația în care pentru agentul termic secundar se adoptă un alt ecart de temperatură, diferit de cel de 20°C la care sunt dimensionate în prezent instalațiile. Acest studiu a fost făcut având în vedere că un

ecart de temperatură de 30°C ar putea facilita introducerea soluției de încălzire cu agent termic de temperatură scăzută în anumite sisteme centralizate.

Tabelul V.3 Randamentul unui sistem de distribuție pentru diferite valori ale temperaturilor nominale ale agentului termic, pentru un ecart de temperatură de 30°C

| $t_t$ [°C] | $t_r$ [°C] | $t_i$ [°C] | $E_c$ [-] | $E_R$ [-] | $\eta_{SD}$ [-] |
|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------------|
| 90,0       | 60,0       | 20         | 0,571     | 0,97      | 0,90            |
| 80,0       | 50,0       | 20         | 0,500     | 0,97      | 0,92            |
| 70,0       | 40,0       | 20         | 0,400     | 0,97      | 0,93            |
| 60,0       | 30,0       | 20         | 0,250     | 0,97      | 0,95            |
| 50,0       | 20,0       | 20         | 0,000     | 0,97      | 0,97            |

Se observă că randamentul sistemului de distribuție este mai bun în cazul unui ecart de temperatură mai mare, indiferent de valoarea nominală a temperaturii agentului termic pe conducta de ducere.

## VI Cercetări experimentale în cadrul SACET. Calibrarea și validarea modelelor teoretice de simulare a comportamentului în regim de exploatare a sistemelor centralizate de alimentare cu energie termică

Partea experimentală a acestei lucrări a vizat evaluarea modului termic al unei rețele de distribuție existente cunoscute pe bază experimentală. S-a urmărit calibrarea și validarea modelului teoretic de determinare a modului termic echivalent al unei rețele termice prin relația de calcul (VI.1):

$$E_{ech} = \frac{t_m - t_s}{t_0 - t_s} \quad (VI.1)$$

unde

- $t_m$  este media temperaturilor agentului termic la consumatorii alimentați;
- $t_0$  este temperatura agentului termic la ieșirea din punctul termic;
- $t_s$  este temperatura ambiantă din canalul termic, respectiv temperatura solului pentru conductele preizolate montate direct în pământ.

Această analiză s-a efectuat pentru conducta de tur a agentului termic.

În lucrarea de față s-a identificat o procedură experimentală de expertizare a gradului de izolare termică al rețelei termice existente. Determinarea gradului real de izolare termică este util în evaluarea performanțelor energetice ale rețelei de conducte. Analiza s-a efectuat prin evaluarea teoretică și experimentală a modului termic al unei rețele de distribuție cunoscute din punct de vedere geometric și constructiv, având drept scop validarea modelului teoretic de simulare a comportamentului în regim de funcționare curentă. Cunoșcând gradul real de izolare termică al rețelei studiate, s-a putut face comparația și validarea modelului teoretic.

În acest scop, s-a realizat modelarea unor ramuri ale sistemelor de distribuție aferente unor puncte termice din cadrul sistemului centralizat de încălzire din municipiul București.

## VI.1 Studiu de caz

Ramura analizată a sistemului de distribuție alimentează 3 blocuri: blocul A, având 7 scări, blocul B, având 6 scări, și blocul C, având 5 scări. Sistemul de distribuție a agentului termic pentru încălzire care alimentează cele trei blocuri este alcătuit din conducte preizolate, îngropate direct în pământ. Scările sunt contorizate separat. În analiză a fost cuprinsă doar rețeaua termică exterioară, până la intrarea în fiecare bloc.

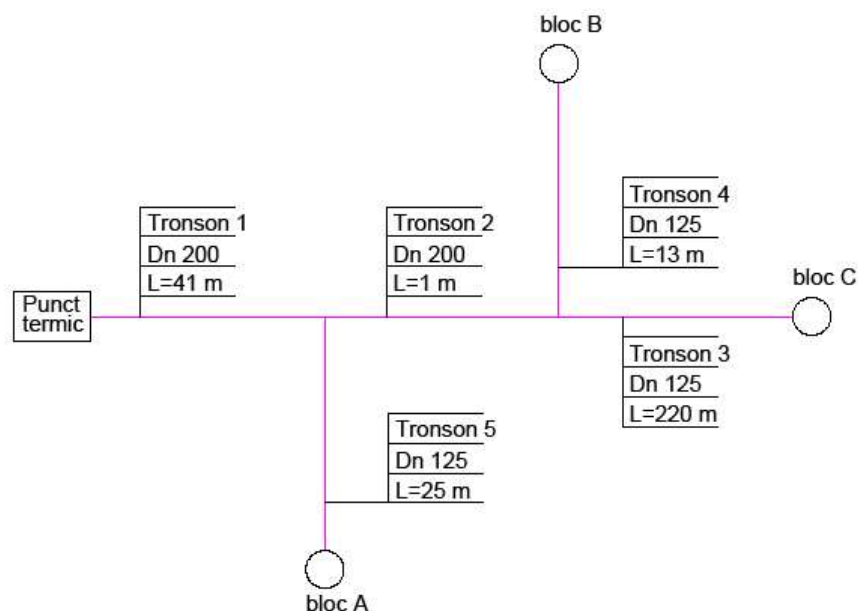


Figura VI.1 Ramura sistemului de distribuție analizată din punct de vedere teoretic și experimental (cazul I)

Pentru început s-a analizat alimentarea consumatorilor cu energie termică (agent termic pentru încălzire) din punct de vedere teoretic. Ulterior au fost introduse în calcul datele furnizate de operatorul sistemului, s-a realizat comparația și s-au tras concluziile.

Caracteristicile fizice și termice ale tronsoanelor de conductă aparținând ramurii studiate a sistemului de distribuție sunt prezentate în Tabelul VI.1.

Rezistențele termice ale tronsoanelor au fost calculate cu relația (VI.2) [104].

$$R = \frac{1}{\pi \cdot D_i \cdot \alpha_i} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_t} \cdot \ln \frac{D_e}{D_i} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{iz}} \cdot \ln \frac{D_{iz}}{D_e} \quad (VI.2)$$

În calcul au fost utilizate debitele măsurate de alimentare a celor trei consumatori și s-au determinat rezistențele termice teoretice ale tronsoanelor de conductă, precum și modulele termice ale acestora.

Apoi s-au calculat temperaturile teoretice ale agentului termic la cei trei consumatori alimentați din ramura respectivă (blocurile A, B și C), considerându-se ca temperatură de ieșire din punctul termic valoarea (teoretică, nominală) de 60°C.

Pentru calculul temperaturilor agentului termic la cei trei consumatori s-au utilizat relațiile următoare [105]:

$$t_C = E_1 \cdot E_2 \cdot E_3 \cdot t_0 + (1 - E_1 \cdot E_2 \cdot E_3) \cdot t_S \quad (\text{VI.3})$$

$$t_B = E_1 \cdot E_2 \cdot E_4 \cdot t_0 + (1 - E_1 \cdot E_2 \cdot E_4) \cdot t_S \quad (\text{VI.4})$$

$$t_A = E_1 \cdot E_5 \cdot t_0 + (1 - E_1 \cdot E_5) \cdot t_S \quad (\text{VI.5})$$

În continuare, s-a analizat alimentarea cu energie termică a consumatorului celui mai îndepărtat de sursă (blocul C) și s-a studiat traseul prin care acesta este alimentat cu energie termică, acesta fiind format din tronsoanele 1, 2 și 3. Valorile teoretice ale rezistențelor termice aferente tronsoanelor analizate au fost verificate cu următoarea relație de calcul [106]:

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{R_1} \\ \frac{1}{R_2} \\ \frac{1}{R_3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\rho c} \cdot \frac{L_1}{G_{11}} & \frac{1}{\rho c} \cdot \frac{L_2}{G_{21}} & \frac{1}{\rho c} \cdot \frac{L_3}{G_{31}} \\ \frac{1}{\rho c} \cdot \frac{L_1}{G_{12}} & \frac{1}{\rho c} \cdot \frac{L_2}{G_{22}} & \frac{1}{\rho c} \cdot \frac{L_3}{G_{32}} \\ \frac{1}{\rho c} \cdot \frac{L_1}{G_{13}} & \frac{1}{\rho c} \cdot \frac{L_2}{G_{23}} & \frac{1}{\rho c} \cdot \frac{L_3}{G_{33}} \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \ln \frac{t_{01} - t_{S1}}{t_{31} - t_{S1}} \\ \ln \frac{t_{02} - t_{C2}}{t_{32} - t_{C2}} \\ \ln \frac{t_{03} - t_{S3}}{t_{33} - t_{S3}} \end{pmatrix} \quad (\text{VI.6})$$

În care semnificația celor doi indici aferenți debitelor este următoarea: primul indice este aferent tronsonului, iar al doilea indice este aferent experimentului.

După efectuarea calculului s-au obținut următoarele valori pentru rezistențele termice ale celor trei tronsoane:

|     |        |      |
|-----|--------|------|
| R1= | 1,9287 | mK/W |
| R2= | 1,9287 | mK/W |
| R3= | 2,5323 | mK/W |

Din calcul s-au obținut aceleași valori ale rezistenței termice ca și cele calculate inițial, pe baza caracteristicilor fizice ale conductei.

S-a determinat modulul termic echivalent al rețelei termice care alimentează cei trei consumatori, pe baza relațiilor de calcul (VI.7) și (VI.8) [105]:

$$\text{Pentru tronsoane montate în paralel:} \quad E_{ij}^p = \frac{G_i \cdot E_i + G_j \cdot E_j}{G_i + G_j} \quad (\text{VI.7})$$

$$\text{Pentru tronsoane montate în serie:} \quad E_{ij}^s = E_i \cdot E_j \quad (\text{VI.8})$$

Tabelul VI.3 Modulul termic echivalent al rețelei de distribuție în cele trei situații considerate (cazul I)

|        | (1)      | (2)      | (3)      |
|--------|----------|----------|----------|
| E34    | 0,998824 | 0,998597 | 0,998597 |
| E234   | 0,998818 | 0,998589 | 0,998589 |
| E2345  | 0,999201 | 0,999041 | 0,999037 |
| E12345 | 0,999036 | 0,998842 | 0,998837 |

Pe baza temperaturilor calculate ale agentului termic pe conducta de tur la intrarea în instalația interioară de distribuție a consumatorilor ( $t_A$ ,  $t_B$  și  $t_C$ ) s-a determinat media temperaturilor la consumatori  $t_m$  pentru fiecare caz, și modulul termic echivalent al rețelei de distribuție studiate, utilizând relația de calcul (VI.1):

Tabelul VI.4 Valorile modulelor termice determinate pe baza temperaturilor calculate (cazul I)

| $t_C$ [°C] | $t_B$ [°C] | $t_A$ [°C] | $t_m$ [°C] | Eech [-] |
|------------|------------|------------|------------|----------|
| 59,919742  | 59,986447  | 59,985460  | 59,9614    | 0,999036 |
| 59,905205  | 59,983621  | 59,982433  | 59,9537    | 0,998842 |
| 59,905416  | 59,983550  | 59,982291  | 59,9535    | 0,998837 |

Se observă, prin compararea valorilor corespondente, că modulul termic echivalent al rețelei de distribuție, determinat pe baza valorilor medii ale temperaturilor la consumatori, este egal cu cel determinat prin calcul, pe baza formulelor (VI.7) și (VI.8).

## Concluzie

Având o rețea termică de distribuție ale cărei caracteristici constructive sunt cunoscute, se poate stabili prin calcul modulul termic echivalent proiectat al rețelei respective și, prin măsurarea temperaturii la sursa de căldură și la capetele rețelei (la consumatori), se poate determina modulul termic echivalent real (efectiv) al rețelei termice. Prin compararea celor două valori, se poate aprecia gradul de depreciere a gradului de izolare și eficiența reală a rețelei de distribuție, comparativ cu modulul termic proiectat.

În acest scop, s-a efectuat aceeași analiză pe baza debitelor și a temperaturilor reale măsurate la cei trei consumatori și s-au calculat rezistențele termice reale ale tronsoanelor de conductă, precum și modulele termice reale ale acestora.

Din datele furnizate de operatorul sistemului, au fost utilizate în calcul debitele și temperaturile măsurate în trei cazuri diferite la ieșirea agentului termic pentru încălzire (tur) din punctul termic, precum și la intrarea acestuia la fiecare dintre cei trei consumatori. Au fost alese trei situații înregistrate în luna ianuarie 2017, când temperatura pe conducta de tur a rețelei de distribuție la ieșirea din punctul termic a avut aceeași valoare, 58,9°C (20 ianuarie, 30 ianuarie, 31 ianuarie).

Valorile modulelor termice calculate pe baza temperaturilor reale măsurate și înregistrate sunt diferite de cele teoretice și sunt prezentate în Tabelul VI.6.

Tabelul VI.6 Valorile modulelor termice calculate pe baza temperaturilor reale măsurate (cazul I)

| $t_c$ [°C] | $t_b$ [°C] | $t_A$ [°C] | $t_m$ [°C] | $E_{ech}$ [-] |
|------------|------------|------------|------------|---------------|
| 57,2       | 56,3       | 56,4       | 56,67      | 0,942709      |
| 57,1       | 56,1       | 56,3       | 56,55      | 0,939675      |
| 57,2       | 56,2       | 56,3       | 56,62      | 0,941317      |

Comparând seturile de valori corespondente, se observă că rețeaua de distribuție formată din tronsoanele de conductă 1, 2 și 3 are rezistențe termice scăzute, ele permițând pierderea unor cantități importante de căldură între punctul termic și consumator.

Cunoașterea modului termic al rețelei de tur poate conduce la stabilirea unui număr de unități termice aferent rețelei de tur și a unei rezistențe termice medii a rețelei de tur, din care se poate deduce starea generală a ramurii rețelei de distribuție. Aceste date nu sunt însă suficiente pentru a determina starea izolației termice a fiecărui tronson al rețelei. În acest scop se poate utiliza relația (VI.6) pentru determinarea rezistențelor termice reale ale fiecărui tronson de conductă care alimentează blocul C cu agent termic pentru încălzire. Valorile reale ale rezistenței termice ale celor trei tronsoane sunt următoarele:

|     |        |      |
|-----|--------|------|
| R1= | 0,0008 | mK/W |
| R2= | 0,0001 | mK/W |
| R3= | 0,0223 | mK/W |

Se observă că valorile reale ale rezistențelor termice aferente tuturor celor trei tronsoane au valori foarte mici, ceea ce înseamnă că izolația conductelor este îmbibată cu apă, iar aceasta nu mai are proprietățile necesare menținerii pierderilor de căldură la valorile normate.

## VII Economii energetice obținute prin reabilitarea termică a anvelopei clădirilor în funcție de gradul de izolare termică

Reabilitarea termică a clădirilor are ca scop reducerea pierderilor de căldură prin elementele de construcție, ducând la o importantă reducere a necesarului de căldură pentru încălzirea clădirii. Alimentarea acestor consumatori cu energie termică la aceiași parametri la care au fost alimentați anterior conduce la scăderea eficienței sistemelor centralizate de încălzire, prin creșterea pierderilor energetice. În prezenta lucrare am analizat reducerea consumurilor energetice ca urmare a aplicării primelor două măsuri de eficientizare a sistemelor centralizate de încălzire (reabilitarea termică a clădirilor și alimentarea clădirilor reabilite termic cu agent termic conform graficului de reglare determinat special pentru acestea). Cele două tipuri de măsuri nu sunt independente, în sensul că determinarea temperaturilor de livrare a agentului termic se face în

funcție de gradul de reabilitare a clădirii. În vederea evaluării consumurilor energetice, se vor folosi relațiile generalizate de reglaj termic calitativ: [97]

$$t_t = \left[ 1 + \frac{t_{i0} - t_{e0}}{t_{i0} - t_{e0}} \cdot \frac{1 - E_0}{1 - E} \cdot \frac{H}{H_0} \right] \cdot t_{i0} - \frac{t_{i0} - t_{i0}}{t_{i0} - t_{e0}} \cdot \frac{1 - E_0}{1 - E} \cdot \frac{H}{H_0} \cdot t_e \quad (\text{VII.1})$$

$$t_r = \left[ 1 + \frac{t_{r0} - t_{i0}}{(t_{i0} - t_{e0})} \cdot \frac{E}{E_0} \cdot \frac{1 - E_0}{1 - E} \cdot \frac{H}{H_0} \right] \cdot t_{i0} - \frac{t_{r0} - t_{i0}}{t_{i0} - t_{e0}} \cdot \frac{E}{E_0} \cdot \frac{1 - E_0}{1 - E} \cdot \frac{H}{H_0} \cdot t_e \quad (\text{VII.2})$$

unde :

$$E_0 = \exp(-NTU_0) = \exp\left(-\frac{k_0 \cdot S}{G_0 \cdot \rho \cdot c}\right) = \frac{t_{r0} - t_{i0}}{t_{i0} - t_{i0}} \quad (\text{VII.3})$$

$$E = E_0^{\frac{k}{k_0}} \quad (\text{VII.4})$$

$$\frac{k}{k_0} = \left( \frac{\Delta t_{ml}}{\Delta t_{ml0}} \right)^{0,3} \quad (\text{VII.5})$$

$$\Delta t_{ml0} = \frac{t_t - t_r}{\ln \frac{t_t - t_{i0}}{t_r - t_{i0}}} \quad (\text{VII.6})$$

Utilizând relațiile prezentate, s-au calculat fluxurile termice transmise de instalația de încălzire spațiului încălzit, considerându-se că acestea sunt egale cu pierderile de căldură de la spațiul încălzit către mediul exterior. În acest scop, au fost stabilite temperaturile agentului termic și temperatura interioară din spațiul încălzit.

S-a analizat reducerea consumurilor energetice anuale ca efect al celor două tipuri de măsuri prezentate anterior, și anume:

- reabilitarea termică a clădirilor (prin reducerea coeficientului complex de cuplaj termic prin anvelopa clădirii, H)
- adaptarea temperaturii nominale a agentului termic la noul necesar de căldură aferent clădirii reabilitate termic, în funcție de gradul de reabilitare.

Primul caz analizat a fost cel al clădirii nereabilitate termic, alimentate cu agent termic pentru încălzire având o temperatură care respectă graficul de reglare a furnizării căldurii determinat la proiectarea clădirii. S-a considerat cazul temperaturilor nominale de dimensionare a sistemelor centralizate de alimentare cu energie termică din România:  $t_{T0}/t_{R0} = 150/80^\circ\text{C}$ ,  $t_{i0}/t_{e0} = 90/70^\circ\text{C}$ .

Al doilea caz analizat a fost cel al clădirii reabilitate din punct de vedere termic, dar a cărei alimentare cu energie termică pentru încălzire din sistemul centralizat se face cu agent termic de temperatură corespunzătoare clădirii nereabilitate (conform graficului de reglare determinat la faza inițială, de proiectare a clădirii) – agent termic utilizat și pentru încălzirea clădirilor nereabilitate (situația de funcționare actuală a tuturor clădirilor reabilitate termic alimentate din

sisteme centralizate din România). S-au studiat mai multe grade de reabilitare a clădirii ( $H/H_0=0,8$ ;  $H/H_0=0,6$ ;  $H/H_0=0,4$ ).

Cel de-al treilea caz studiat a fost acela în care la încălzirea clădirii reabilitate termic se utilizează agent termic de temperatură corespunzătoare asigurării unei temperaturi interioare conforme cu normativele în vigoare (temperatura interioară convențională de calcul a fost considerată  $+20^{\circ}\text{C}$ , determinată ca temperatura predominantă între temperaturile interioare convenționale de calcul din încăperile clădirilor de locuit, conform SR 1907/2-2014). În acest scop s-au determinat temperaturile agentului termic (tur-retur) care să determine această temperatură interioară și s-a întocmit un nou grafic de reglare a furnizării căldurii, corespunzător clădirii reabilitate termic (graficul corectat de reglaj termic calitativ).

În Figura VII.1 este reprezentată grafic reducerea consumului energetic al clădirii caracterizate de o putere termică nominală pentru încălzire de 1 MW, situate în zona climatică 2. Au fost reprezentate separat reducerile consumului energetic datorate reabilitării termice a clădirii, datorită utilizării unui agent termic de temperatură scăzută, precum și efectul cumulat al ambelor măsuri de creștere a eficienței energetice a sistemului de alimentare cu energie termică. În figura de mai jos, curba R1 reprezintă reducerea procentuală a consumului energetic datorată anvelopării termice, R2 reprezintă reducerea procentuală a consumului energetic datorată utilizării unui agent termic de temperatură corespunzătoare noului necesar energetic al clădirii reabilitate, iar R12 reprezintă reducerea procentuală a consumului energetic datorată efectului cumulat al reabilitării termice a clădirii și utilizării unui agent termic de temperatură scăzută. Reducerile consumurilor energetice au fost reprezentate grafic în funcție de gradul de reabilitare termică a clădirii.

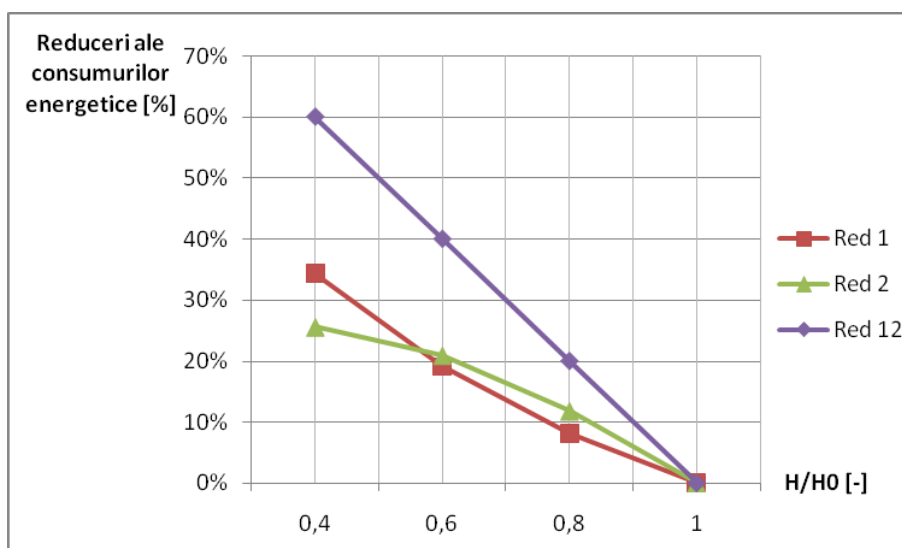


Figura VII.1 Reducerea consumului energetic al clădirii datorat reabilitării termice și utilizării unui agent termic de temperatură corespunzătoare gradului de reabilitare termică

Graficul ilustrează faptul că reducerea consumurilor energetice ca rezultat al anvelopării termice și furnizării unui agent termic de temperatură mai scăzută, corespunzător gradului de reabilitare termică, conduc la reduceri semnificative ale consumurilor energetice, de circa 20% în cazul  $H/H_0=0,8$ , de circa 40% în cazul  $H/H_0=0,6$  și de circa 60% în cazul  $H/H_0=0,4$ .

Din Figura VII.1 se observă că pentru un grad de reabilitare a clădirii  $H/H_0>0,55$ ,  $R_2>R_1$ , deci corectarea graficului de reglare a furnizării căldurii are o pondere mai importantă în reducerea procentuală a consumului energetic decât reabilitarea termică a clădirii, iar pentru un grad de reabilitare al clădirii  $H/H_0<0,55$ ,  $R_1>R_2$ , ponderea celor două componente se inversează și reabilitarea termică a clădirii devine predominantă.

### **VIII Economii energetice datorate reducerii temperaturii agentului termic în rețelele de distribuție**

În prezentul capitol s-a efectuat o analiză privind efectul reducerii temperaturilor agentului termic asupra pierderilor termice ale rețelelor termice.

În acest scop, s-a realizat modelarea unei ramuri a unui sistem de distribuție aferent unor puncte termice din cadrul sistemului centralizat de încălzire din municipiul București.

Pentru analiza efectuată a fost ales același punct termic din cartierul Berceni ca și la capitolul VI și au fost utilizate date furnizate de RADET București.

În calcul au fost utilizate debitele măsurate de alimentare a celor trei consumatori.

În vederea evaluării pierderilor termice ale rețelei de distribuție s-a utilizat următoarele relații de calcul:

$$Q_p = \frac{1}{R} \cdot L \cdot \Delta t_{ml, sol} \quad (\text{VIII.1})$$

$$R = \frac{1}{\pi \cdot D_i \cdot \alpha_i} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_l} \cdot \ln \frac{D_e}{D_i} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{iz}} \cdot \ln \frac{D_{iz}}{D_e} \quad (\text{VIII.2})$$

S-au determinat pierderile termice teoretice ale tronsoanelor rețelei de distribuție pentru două situații:

- alimentarea consumatorilor cu agent termic la temperaturile corepunzătoare graficului de reglare pentru consumatorii nereabilitați termic
- alimentarea consumatorilor cu agent termic la temperaturile corepunzătoare graficului de reglare corectat pentru consumatorii reabilitați termic (cazul  $H/H_0=0,6$ ).

Se observă că, pe durata unui sezon de încălzire, pierderile termice ale rețelelor de distribuție se reduc cu 31,6% dacă blocurile reabilitate termic sunt alimentate cu agent termic de temperatură corespunzătoare graficului de reglare corectat, comparativ cu situația în care acestea ar fi alimentate cu agent termic având temperatura corespunzătoare graficului de reglare aferent clădirilor nereabilitate.

Tabelul VIII.2 Pierderile termice aferente tronsoanelor rețelei de distribuție la alimentarea consumatorilor cu agent termic la temperaturile corepunzătoare graficului de reglare pentru consumatorii nereabilitați termic

| Nr. zile | te (°C) | t <sub>IB</sub> (°C) | tr <sub>B</sub> (°C) | Tur      |          |          |          |          |         | Retur    |          |          |          |          |         | Qtot (kW) | Qp (MWh) |      |
|----------|---------|----------------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|-----------|----------|------|
|          |         |                      |                      | Qp1 (kW) | Qp2 (kW) | Qp3 (kW) | Qp4 (kW) | Qp5 (kW) | Qt (kW) | Qp1 (kW) | Qp2 (kW) | Qp3 (kW) | Qp4 (kW) | Qp5 (kW) | Qr (kW) |           |          |      |
| 2        | -15     | 90,0                 | 70,0                 | 1,49     | 0,04     | 6,07     | 0,36     | 0,69     | 8,65    | 1,06     | 0,03     | 4,35     | 0,26     | 0,49     | 6,19    | 14,84     | 0,7      |      |
| 11       | -10     | 81,8                 | 64,7                 | 1,31     | 0,03     | 5,37     | 0,32     | 0,61     | 7,64    | 0,95     | 0,02     | 3,89     | 0,23     | 0,44     | 5,53    | 13,17     | 3,5      |      |
| 32       | -5      | 73,4                 | 59,1                 | 1,14     | 0,03     | 4,63     | 0,27     | 0,53     | 6,60    | 0,83     | 0,02     | 3,41     | 0,20     | 0,39     | 4,84    | 11,44     | 8,8      |      |
| 60       | 0       | 64,6                 | 53,2                 | 0,95     | 0,02     | 3,87     | 0,23     | 0,44     | 5,52    | 0,71     | 0,02     | 2,89     | 0,17     | 0,33     | 4,11    | 9,63      | 13,9     |      |
| 53       | 5       | 55,5                 | 46,9                 | 0,75     | 0,02     | 3,08     | 0,18     | 0,35     | 4,38    | 0,57     | 0,01     | 2,34     | 0,14     | 0,27     | 3,33    | 7,71      | 9,8      |      |
| 24       | 10      | 45,7                 | 39,9                 | 0,55     | 0,01     | 2,23     | 0,13     | 0,25     | 3,17    | 0,42     | 0,01     | 1,74     | 0,10     | 0,20     | 2,47    | 5,64      | 3,2      |      |
|          |         |                      |                      |          |          |          |          |          | 35,95   |          |          |          |          |          |         | 26,49     | 62,44    | 39,9 |

Tabelul VIII.3 Pierderile termice aferente tronsoanelor rețelei de distribuție la alimentarea consumatorilor cu agent termic la temperaturile corepunzătoare graficului de reglare corectat pentru consumatorii reabilitați termic

| Nr. zile | te (°C) | t <sub>IB</sub> (°C) | tr <sub>B</sub> (°C) | Tur      |          |          |          |          |         | Retur    |          |          |          |          |         | Qtot (kW) | Qp (MWh) |      |
|----------|---------|----------------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|-----------|----------|------|
|          |         |                      |                      | Qp1 (kW) | Qp2 (kW) | Qp3 (kW) | Qp4 (kW) | Qp5 (kW) | Qt (kW) | Qp1 (kW) | Qp2 (kW) | Qp3 (kW) | Qp4 (kW) | Qp5 (kW) | Qr (kW) |           |          |      |
| 2        | -15     | 66,4                 | 54,4                 | 0,99     | 0,02     | 4,03     | 0,24     | 0,46     | 5,74    | 0,73     | 0,02     | 3,00     | 0,18     | 0,34     | 4,26    | 10,00     | 0,5      |      |
| 11       | -10     | 61,0                 | 50,7                 | 0,87     | 0,02     | 3,56     | 0,21     | 0,40     | 5,07    | 0,65     | 0,02     | 2,68     | 0,16     | 0,30     | 3,81    | 8,88      | 2,3      |      |
| 32       | -5      | 55,5                 | 46,9                 | 0,75     | 0,02     | 3,08     | 0,18     | 0,35     | 4,38    | 0,57     | 0,01     | 2,34     | 0,14     | 0,27     | 3,33    | 7,71      | 5,9      |      |
| 60       | 0       | 49,7                 | 42,8                 | 0,63     | 0,02     | 2,57     | 0,15     | 0,29     | 3,67    | 0,49     | 0,01     | 1,99     | 0,12     | 0,23     | 2,83    | 6,49      | 9,4      |      |
| 53       | 5       | 43,6                 | 38,4                 | 0,50     | 0,01     | 2,05     | 0,12     | 0,23     | 2,91    | 0,39     | 0,01     | 1,61     | 0,09     | 0,18     | 2,29    | 5,20      | 6,6      |      |
| 24       | 10      | 37,1                 | 33,7                 | 0,43     | 0,01     | 2,05     | 0,10     | 0,20     | 2,79    | 0,29     | 0,01     | 1,19     | 0,07     | 0,13     | 1,69    | 4,48      | 2,6      |      |
|          |         |                      |                      |          |          |          |          |          | 24,56   |          |          |          |          |          |         | 18,21     | 42,77    | 27,3 |

## IX Studiu de caz: Evaluarea reducerii pierderilor termice aferente unui consumator prin scăderea temperaturii agentului termic

Considerăm clădirea analizată în capitolele anterioare, o clădire amplasată în zona climatică 2, având un consum energetic orar de 1 MW la temperatura exterioară de calcul de  $-15^{\circ}\text{C}$ .

- 1) Luăm în considerare întâi cazul clădirii nereabilitate termic.
- 2) Considerăm situația uzuală aplicată în România în cadrul proiectelor de reabilitare termică a clădirilor: aplicarea a 10 cm de polistiren pe părțile opace ale anvelopei și înlocuirea integrală a ferestrelor cu tâmplărie de lemn cu ferestre etanșe cu geam termoizolant. Din exemplul de calcul din capitolul VII a rezultat că aceste caracteristici conduc la un raport  $H/H_0=0,4$ .
- 3) Considerăm alimentarea consumatorului cu agent termic având temperatura corespunzătoare noului necesar de căldură rezultat după reabilitarea clădirii, așa cum a rezultat din calculele efectuate în cadrul capitolului IV.

Analizăm deci trei situații distincte pentru clădirea respectivă; fiecareia dintre aceste situații îi corespunde un anumit consum energetic pentru încălzire al clădirii  $Q_C$ , un anumit coeficient complex de cuplaj termic prin anvelopa clădirii  $H$ , o anumită pereche de temperaturi nominale (tur-retur) ale graficului de reglare  $t_t/t_r$  și o anumită cantitate de energie termică  $Q_{\text{sursă}}$  necesar a fi livrată din sursa de căldură (punctul termic) pentru asigurarea consumului energetic  $Q_C$ .

|                                                       | $Q_C$    | $H$   | $t_t/t_r$       | $Q_{\text{sursă}}$  |
|-------------------------------------------------------|----------|-------|-----------------|---------------------|
| 1. Clădire nereabilitată                              | $Q_{C0}$ | $H_0$ | $t_{t0}/t_{r0}$ | $Q_{\text{sursă}0}$ |
| 2. Clădire reabilitată + grafic de reglare necorectat | $Q_{C2}$ | $H$   | $t_{t0}/t_r$    | $Q_{\text{sursă}2}$ |
| 3. Clădire reabilitată + grafic de reglare corectat   | $Q_{C3}$ | $H$   | $t_t/t_r$       | $Q_{\text{sursă}3}$ |

Prin acest exemplu de calcul se urmărește evidențierea reducerii puterii termice consumate  $Q_C$  și a puterii necesar a fi livrate de sursa de căldură  $Q_{\text{sursă}}$  în cele trei situații menționate, ca efect al:

- a) reabilitării termice a anvelopei clădirii, deci suprafeței excedentare a suprafeței corpurilor de încălzire
- b) reducerii pierderilor termice în rețelele de distribuție a căldurii. Pentru aceasta s-au determinat separat pierderile termice în rețelele de distribuție aferente consumatorului reabilitat.

Pentru determinarea pierderilor termice în rețelele de distribuție s-au utilizat relațiile de la capitolul V:

$$E_C = \frac{t_r - t_i}{t_t - t_i} \quad (\text{V.4})$$

$$\eta_{SD} = \frac{Q_C}{Q_{\text{sursa}}} = \frac{E_R \cdot (1 - E_C)}{1 - E_R^2 \cdot E_C} \quad (\text{V.1})$$

Pentru o temperatură interioară convențională de calcul de 20°C, considerând că modulul termic al rețelelor de distribuție  $E_R$  este constant și egal cu 0,98 (valoare care corespunde unor rețele termice aflate într-o stare de uzură medie într-o zonă cu densitate termică liniară ridicată) și pentru diferite valori ale temperaturilor nominale ale graficului de reglaj calitativ al furnzării căldurii, se obțin următoarele valori ale randamentului sistemului de distribuție:

Tabelul IX. 1 Randamentul sistemului de distribuție pentru diferite temperaturi nominale ale graficului de reglaj termic calitativ

|                 |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|
| $t_{i0}$ (°C)   | 90   | 70   | 50   | 85   | 65   | 45   |
| $t_{r0}$ (°C)   | 70   | 50   | 30   | 75   | 55   | 35   |
| $E_R$ (-)       | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 0,98 |
| $E_C$ (-)       | 0,71 | 0,60 | 0,33 | 0,85 | 0,78 | 0,60 |
| $\eta_{SD}$ (-) | 0,89 | 0,93 | 0,96 | 0,80 | 0,86 | 0,93 |

Dar randamentul sistemului centralizat de alimentare cu energie termică este:

$$\eta = \frac{Q_C}{Q_{sursa}} \quad (\text{V.1}) \quad \text{deci} \quad Q_{sursa} = \frac{Q_C}{\eta}$$

Pentru clădirea având un consum energetic orar de 1 MW la temperatura exterioră de calcul de -15°C și cazul de reabilitare termică analizat ( $H/H_0=0,4$ ) rezultă:

Tabelul IX.2 Puterea termică consumată și puterea termică livrată de sursa de căldură pentru clădirea considerată

| H/H <sub>0</sub> =0,4 |                |               |               |               |              |              |                    |                      |                |
|-----------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------------|----------------------|----------------|
|                       | $Q_C$<br>(MWh) | $t_t$<br>(°C) | $t_r$<br>(°C) | $t_i$<br>(°C) | $E_R$<br>(-) | $E_C$<br>(-) | $\eta_{SD}$<br>(-) | $Q_{sursa}$<br>(MWh) | $Q_p$<br>(MWh) |
| 1                     | 2.356          | 90            | 70            | 20            | 0,98         | 0,71         | 0,89               | 2.642                | 286            |
| 2                     | 1.546          | 90            | 77,2          | 41,1          | 0,98         | 0,74         | 0,88               | 1.753                | 208            |
| 3                     | 942            | 53,6          | 45,6          | 20            | 0,98         | 0,76         | 0,87               | 1.083                | 141            |

În Tabelul IX.2,  $Q_p$  reprezintă pierderile termice în rețelele de distribuție aferente consumatorului reabilitat.

Tabelul IX.3 prezintă, procentual, puterea consumată la nivelul clădirii, respectiv pierderile termice în rețea, comparativ cu puterea livrată de sursă în situația anterioară reabilitării, pentru fiecare din scenariile analizate.

Tabelul IX.3 Puterea consumată la nivelul clădirii și pierderile termice în rețea, relative la puterea livrată de sursă în situația anterioară reabilitării

|   | Putere consumată<br>(%) | Pierderi rețea<br>(%) |
|---|-------------------------|-----------------------|
| 1 | 0,89                    | 0,11                  |
| 2 | 0,59                    | 0,08                  |
| 3 | 0,36                    | 0,05                  |

Reprezentând grafic reducerea puterii termice consumate  $Q_C$  și a puterii necesar a fi livrate de sursa de căldură  $Q_{\text{sursă}}$  în cele trei situații menționate, obținem:

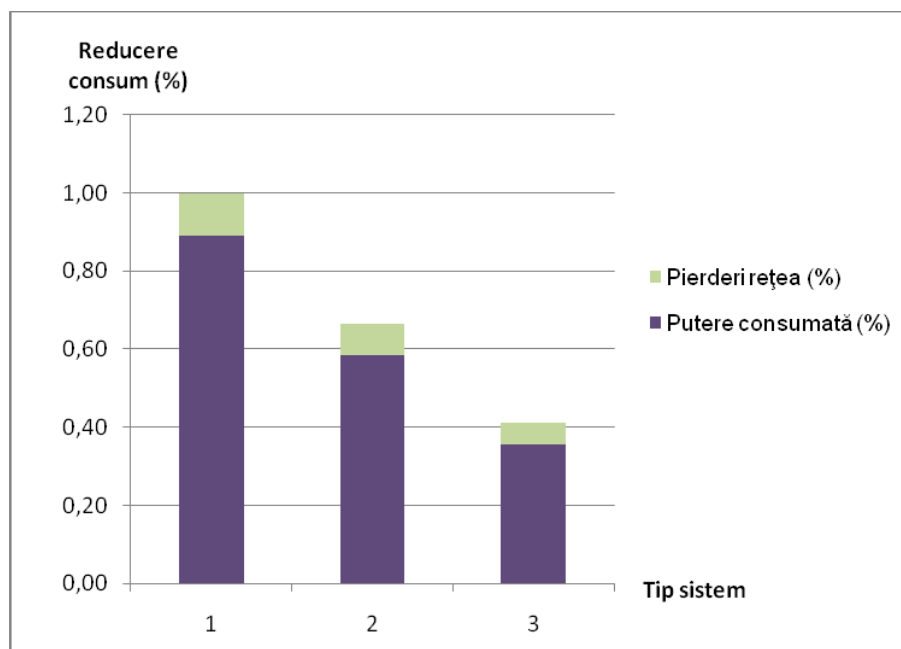


Figura IX.1 Puterea termică consumată și pierderile termice în rețelele de distribuție pentru clădirea considerată, în cele trei scenarii analizate

În figura de mai sus, tipurile de sistem sunt cele precizate mai sus, respectiv:

1. Clădire nereabilitată
2. Clădire reabilitată + grafic de reglare necorectat
3. Clădire reabilitată + grafic de reglare corectat

#### **X Analiza schemelor de racordare a consumatorilor în vederea alimentării clădirilor reabilite cu agent termic de temperatură redusă**

Întrucât sistemele centralizate de alimentare cu energie termică din România alimentează în același timp clădiri cu eficiență energetică ridicată și clădiri nereabilite termic, este necesar ca sistemele să funcționeze deocamdată după graficele de reglare actuale. Pentru furnizarea energiei termice cu agent de temperatură redusă a clădirilor reabilite termic, propunem o schemă de racordare prin care alimentarea cu agent termic a clădirilor eficiente energetic să se facă în principal din conducta de retur a sistemului, și numai în cazul în care temperatura agentului termic din conducta de retur este insuficientă, se va prelua debitul necesar din conducta de tur. Reglarea se va face cu ajutorul unui robinet de reglare cu trei căi, de amestec, cu acționare electrică, urmărind temperatura de furnizare a agentului termic în conformitate cu graficele de reglare a furnizării căldurii specifice clădirilor cu eficiență energetică ridicată. Schema propusă este adaptată după cea propusă în „*Low temperature networks: Concept, demonstration and guideline*” presentation at DHC+ 2nd International Research Conference, 5-6 noiembrie 2013 [16]

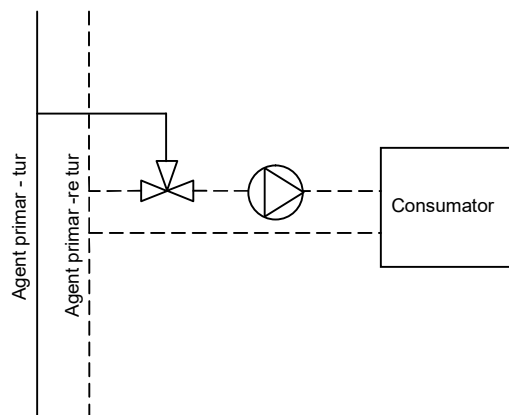


Figura X.1 Schema de racordare a clădirilor cu eficiență energetică ridicată

În prezenta lucrare s-a analizat posibilitatea de racordare a clădirilor cu eficiență energetică ridicată în mai multe scenarii, acoperind toate posibilitățile care pot apărea în practică în prezent și în anii următori. Au fost identificate trei scenarii posibile:

- a. **Unul sau mai multe puncte termice din sistemul centralizat alimentează exclusiv clădiri cu eficiență energetică ridicată**
- b. **Toți consumatorii alimentați dintr-o ramură a unui punct termic sunt clădiri cu eficiență energetică ridicată**
- c. **Punctul termic sau centrala termică de cartier alimentează atât clădiri cu eficiență energetică ridicată, cât și clădiri care încă nu au fost reabilitate termic.**

În cele ce urmează sunt analizate pe rând soluțiile corespunzătoare fiecăreia dintre scenariile menționate.

**a. Scenariul (a): Unul sau mai multe puncte termice din sistemul centralizat alimentează exclusiv clădiri cu eficiență energetică ridicată**

În scenariul (a) s-a studiat modul de alimentare cu agent termic de temperatură scăzută pentru încălzire a punctelor termice care alimentează numai clădiri reabilitate termic sau clădiri noi, construite în conformitate cu noile reglementări privind eficiența energetică a clădirilor.

În scopul alimentării consumatorilor cu agent termic de temperatură scăzută, conform graficelor de reglaj termic calitativ corectate, cea mai la îndemână soluție ar fi realizarea montajului prezentat în Figura X.1 în punctul de racord al punctului termic, și furnizarea către punctul termic a agentului termic primar în conformitate cu graficul de reglare a furnizării căldurii corectat pentru clădirile reabilitate. Acest lucru ar permite eficientizarea sistemului centralizat de alimentare cu energie termică și prin reducerea pierderilor de căldură în rețelele termice care alcătuiesc racordul la punctul termic respectiv. Totuși, în prezenta lucrare nu a fost propusă această soluție, din mai multe motive:

- punctul de racord este un punct oarecare pe traseu, unde se găsește cel mult un cămin de racord; montajul robinetului de reglare necesită spațiu, precum și alimentare cu energie electrică. Transmiterea informațiilor de la controller-ul din punctul termic sau de la un alt controller la robinetul de reglare se poate face prin cablu, prin internet sau prin

rețeaua GSM, toate necesitând echipament și materiale, care reprezintă costuri suplimentare. În punctul termic, pe de altă parte, există și spațiu, există posibilitatea alimentării cu energie electrică, fiind necesară numai reprogramarea controller-ului prin introducerea datelor corespunzătoare noului grafic de reglaj calitativ.

- alimentarea punctului termic cu agent termic primar de altă temperatură decât cea pentru care acesta a fost proiectat necesită un studiu aprofundat privind capacitatea schimbătoarelor de căldură de a produce apă caldă de consum la parametrii normativi (60°C). Se propune ca această analiză să se facă în mod centralizat, la nivelul întregului sistem, astfel încât, în momentul când acesta va alimenta numai clădiri eficiente energetic, să se poată implementa noul mod de funcționare (cu temperatură scăzută).

În primul scenariu (a), s-au analizat mai multe scheme de racordare ale punctelor termice la sistemele centralizate și s-au ales trei dintre cele mai întâlnite în practică, și anume:

- schema de racordare indirectă a instalațiilor de încălzire și prepararea apei calde de consum în două trepte în serie cu instalația de încălzire. Au fost analizate ambele situații de funcționare care sunt prezente în sistemele centralizate actuale: funcționarea cu debit constant (reglaj calitativ) și funcționarea cu debit variabil (reglaj mixt).
- schema de racordare indirectă a instalațiilor de încălzire și prepararea apei calde de consum într-o treaptă în paralel cu instalația de încălzire. Au fost analizate ambele situații de funcționare care sunt prezente în sistemele centralizate actuale: funcționarea cu debit constant (reglaj calitativ) și funcționarea cu debit variabil (reglaj mixt).
- schema de racordare indirectă a instalațiilor de încălzire și prepararea apei calde de consum într-o treaptă în serie cu instalația de încălzire, cu injecție și acumulare. Au fost analizate ambele situații de funcționare care sunt prezente în sistemele centralizate actuale: funcționarea cu debit constant (reglaj calitativ) și funcționarea cu debit variabil (reglaj mixt).

În cazul funcționării cu debit constant nu este necesară introducerea în schemă a niciunui echipament suplimentar. Soluția constă în reprogramarea controllerului electronic existent pentru introducerea temperaturilor aferente noului grafic de reglaj calitativ. Robinetul de reglare cu trei căi existent va continua să funcționeze în același mod: din agentul termic primar de temperatură ridicată de pe conducta de tur de la sursă va fi preluat în schimbătorul de căldură pentru încălzire numai debitul necesar preparării agentului termic la temperatura stabilită pentru clădirile reabilite, în funcție de temperatura exterioară. Controllerul electronic compară temperatura din graficul de reglare corespunzătoare temperaturii exterioare cu cea transmisă de la sonda de temperatură de pe conducta de tur a sistemului de distribuție. Dacă temperatura agentului termic care pleacă spre consumator este mai mare decât cea prevăzută în graficul de reglare, controllerul comandă reducerea debitului de agent termic primar prin schimbătorul de căldură și mărirea debitului pe conducta de by-pass spre conducta de retur a rețelei primare. Dacă temperatura agentului termic care pleacă spre consumator este mai mică decât cea prevăzută în graficul de reglare, controllerul

comandă creșterea debitului de agent termic primar prin schimbătorul de căldură pentru încălzire și reducerea debitului pe conducta de by-pass spre conducta de retur a rețelei de transport a căldurii.

Nici în cazul funcționării cu debit variabil nu este necesară introducerea în schemă a unor noi echipamente. Soluția este aceeași: reprogramarea controllerului electronic existent prin introducerea noului grafic de reglaj al furnizării căldurii. Robinetul de reglare cu două căi existent va avea aceeași funcție, permițând trecerea prin schimbătorul de căldură pentru încălzire a debitului de agent termic primar de pe conducta de tur necesar preparării agentului termic la temperatura stabilită pentru clădirile reabilitate, în funcție de temperatura exterioară. Controllerul electronic compară temperatura din graficul de reglare corespunzătoare temperaturii exterioare cu cea transmisă de la sonda de temperatură de pe conducta de tur a sistemului de distribuție. Dacă temperatura agentului termic care pleacă spre consumator este mai mare decât cea prevăzută în graficul de reglare, controllerul comandă reducerea debitului de agent termic primar prin schimbătorul de căldură. Dacă temperatura agentului termic care pleacă spre consumator este mai mică decât cea prevăzută în graficul de reglare, controllerul comandă creșterea debitului de agent termic primar prin schimbătorul de căldură pentru încălzire.

**Se observă că soluțiile propuse nu impun investiții noi în echipamente și materiale, singurele cheltuieli necesare fiind legate de elaborarea unor studii în vederea stabilirii noilor grafice de reglare a furnizării căldurii, în funcție de gradul de reabilitare al clădirilor, și de reprogramarea controllerului electronic pentru introducerea datelor corespunzătoare stabilite prin calcul.**

Este evident că gradul de reabilitare al clădirilor este diferit și este posibil ca necesarul de căldură de calcul al clădirilor alimentate din același punct termic să nu poată fi asigurat cu agent termic de aceeași temperatură. În această situație, este necesar ca operatorul sistemului centralizat de alimentare cu energie termică să elaboreze anumite studii pentru stabilirea, în fiecare caz, a temperaturii agentului termic care poate satisface necesarul de energie termică al consumatorilor aferenți fiecărui punct termic. Pentru o eficiență maximă a funcționării sistemului, dar și pentru asigurarea temperaturii optime la consumatori, este esențială dotarea tuturor corpurilor de încălzire cu robinete termostactice.

**b. Scenariul (b): Toți consumatorii alimentați dintr-o ramură a unui punct termic sunt clădiri cu eficiență energetică ridicată**

- Pentru acest scenariu este necesară achiziționarea unui robinet cu trei căi care să funcționeze ca robinet de amestec. Acesta se va monta la ieșirea din distribuitorul pentru încălzire, pe ramura care alimentează consumatorii cu eficiență energetică ridicată. De asemenea, este necesară achiziția unei sonde de temperatură care să fie montată pe ramura care alimentează blocurile reabilitate, Robinetul cu trei căi va prelua o parte din debitul de pe conducta de întoarcere de la consumatori, iar din conducta de ducere va prelua numai debitul necesar asigurării confortului termic. Pe conducta de racord se va monta o pompă cu turație variabilă (Figura X.14).

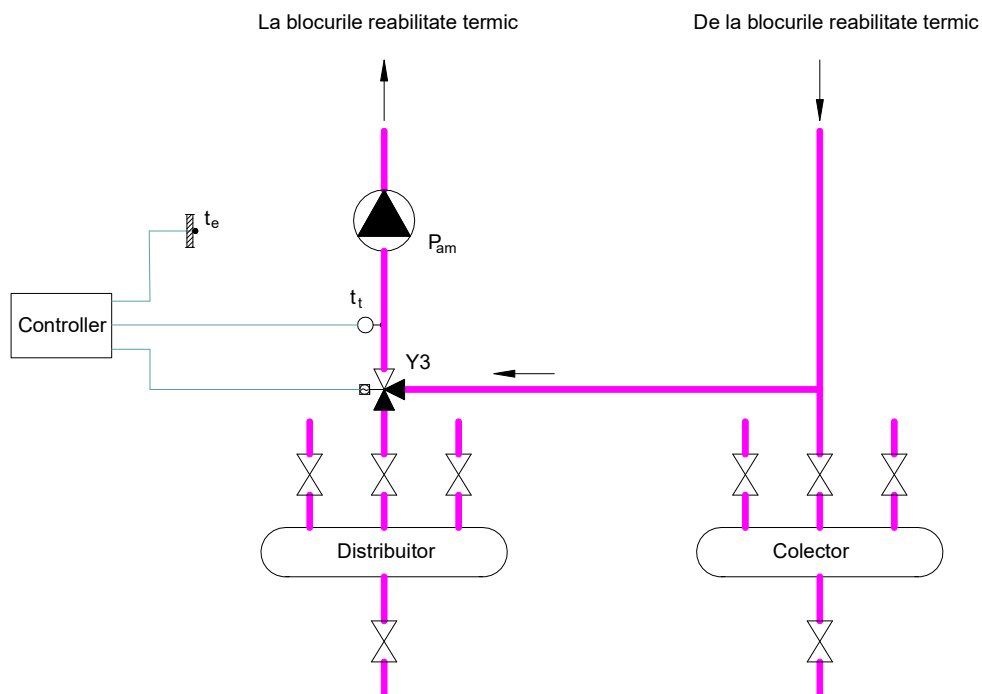


Figura X.14 Schema de racordare a blocurilor reabilitate termic în cazul în care acestea sunt alimentate din aceeași ramură a rețelei de distribuție - cazul 1

Graficul de reglare pentru consumatorii cu eficiență energetică ridicată trebuie calculat și introdus în controllerul electronic. Acesta compară temperatura din graficul de reglare corespunzătoare temperaturii exterioare cu cea transmisă de la sonda de temperatură de pe conducta care alimentează consumatorii cu eficiență energetică ridicată. Dacă temperatura agentului termic care pleacă spre consumatori este mai mare decât cea prevăzută în graficul de reglare, controllerul comandă reducerea debitului de agent termic de pe conducta de tur care pleacă din distribuitorul de încălzire și mărirea debitului pe conducta de retur de la colector. Dacă temperatura agentului termic care pleacă spre consumatori este mai mică decât cea prevăzută în graficul de reglare, controllerul comandă creșterea debitului de agent termic de pe conducta de tur care pleacă din distribuitorul de încălzire și reducerea debitului pe conducta de retur de la colector.

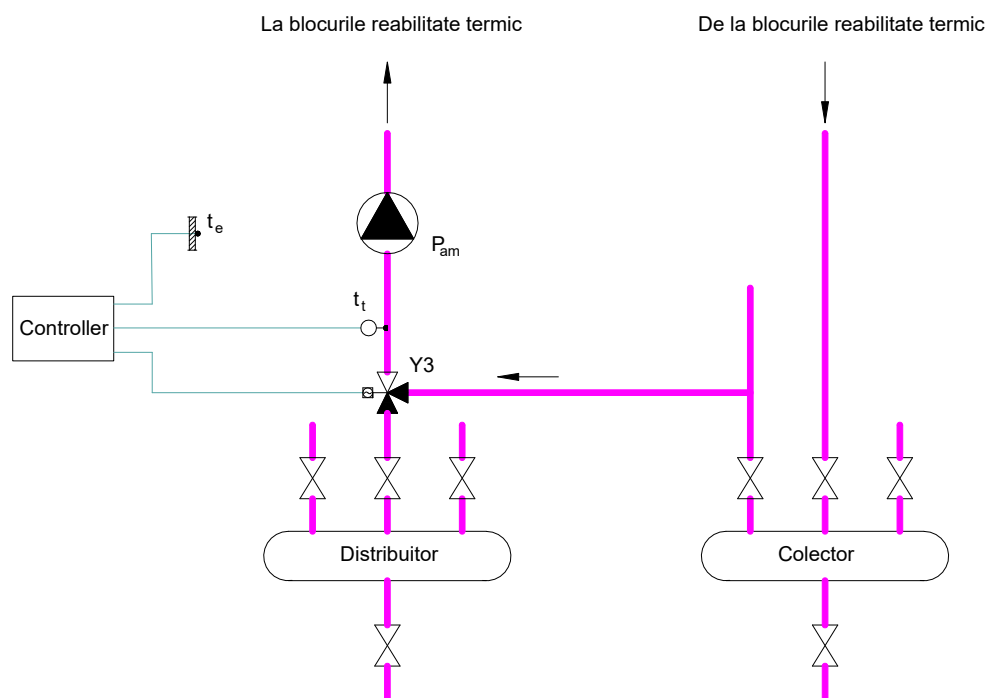


Figura X.15 Schema de racordare a blocurilor reabilitate termic în cazul în care acestea sunt alimentate din aceeași ramură a rețelei de distribuție - cazul 2

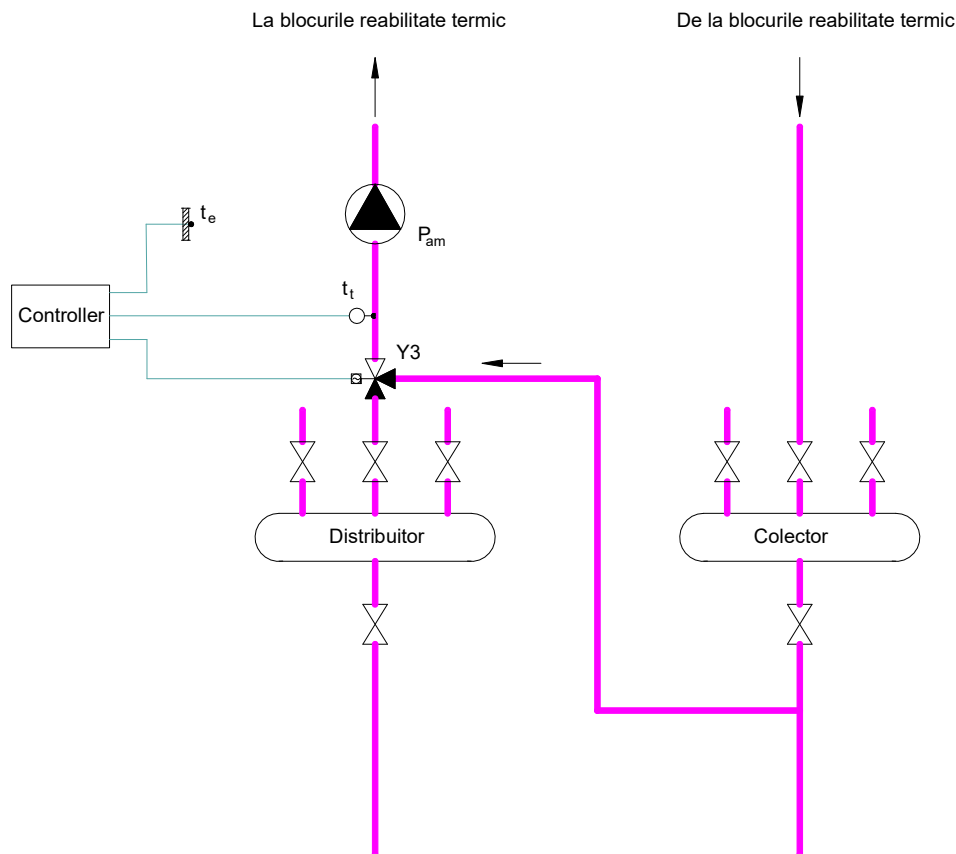


Figura X.16 Schema de racordare a blocurilor reabilitate termic în cazul în care acestea sunt alimentate din aceeași ramură a rețelei de distribuție - cazul 3

**c. Scenariul (c): punctul termic sau centrala termică de cartier alimentează atât clădiri cu eficiență energetică ridicată, cât și clădiri care încă nu au fost reabilitate termic**

Această situație este și cea mai dificil de rezolvat practic, întrucât reglarea ar trebui să se facă în punctul de racord al consumatorului sau chiar la consumator, lucru dificil de realizat datorită faptului că reglarea presupune existența sau instalarea unui controller. În cazul în care legătura la un controller electronic din vecinătate se poate face, se propune schema din Figura X.17.

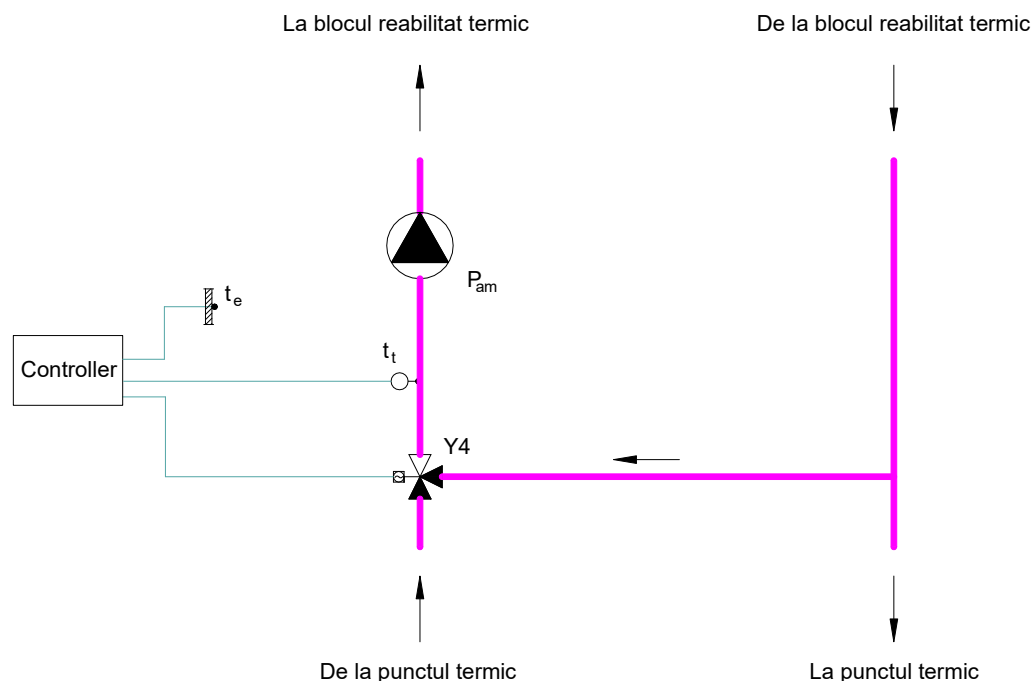


Figura X.17 Schema de racordare a unui bloc sau a unor blocuri reabilitate termic în cazul în care acestea sunt alimentate din aceeași ramură a rețelei de distribuție cu alte blocuri nereabilitate termic. O altă soluție, care impune un cost de investiție mai ridicat, este **dotarea clădirii reabilitate cu un modul termic propriu**. Acesta va fi de la început dimensionat pentru funcționarea instalației interioare de încălzire cu temperatură scăzută. Soluția presupune un racord nou din rețeaua termică de transport (primară) a sistemului și un punct termic care să prepare atât agentul termic pentru încălzire, cât și apa caldă de consum, sau un racord din rețeaua de distribuție (secundară) și un modul termic mai simplu, care să asigure numai prepararea agentului termic pentru încălzire. În cazul în care clădirea reabilitată este deja racordată la sistemul centralizat printr-un modul termic propriu, se va aplica una dintre soluțiile descrise în cadrul Scenariului (a), în funcție de schema de racordare și de tipul de reglaj termic (calitativ sau mixt) care a fost prevăzut.

## XI Alimentarea centralizată cu energie termică de joasă temperatură. Creșterea suprafeței de încălzire. Justificare energetică și economică

O altă soluție de alimentare a consumatorilor cu agent termic de temperatură redusă este creșterea suprafeței de încălzire. Având în vedere faptul că utilizarea unui agent termic de temperatură redusă conduce pe de o parte la reducerea pierderilor de căldură în rețelele termice de distribuție, dar implică un cost de investiție aferent măririi suprafeței de încălzire, s-a analizat în ce măsură reducerea temperaturii agentului termic în sistemele de încălzire districtuală este rentabilă. [107]

În Figura XI.1 se prezintă grafic dependența raportului  $R_t$  a diferențelor de temperaturi nominale de temperatura nominală a agentului termic la intrarea în instalația de încălzire. Cu cât temperatura nominală medie a agentului termic scade, cu atât este necesar ca suprafața de încălzire să crească, pentru a se putea livra către spațiul încălzit fluxul termic necesar aferent consumatorului, care trebuie să fie același indiferent de temperatura aleasă a agentului termic.

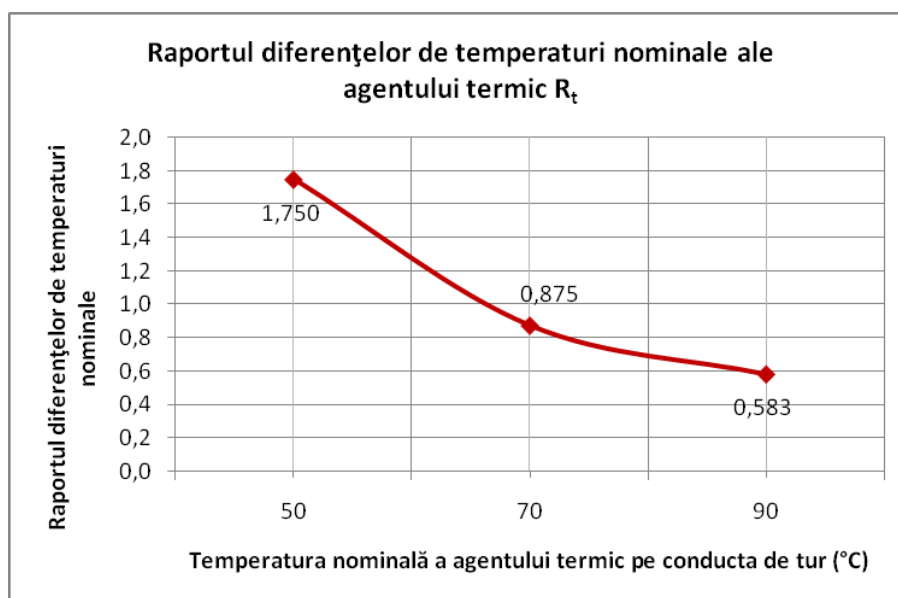


Figura XI.1 Dependența raportului  $R_t$  al diferențelor de temperaturi nominale de temperatura nominală a agentului termic la intrarea în instalația de încălzire

S-au considerat 3 variante de dimensionare a suprafeței de încălzire aferente consumatorului (90/70 – varianta 1; 70/50 – varianta 2; 50/30 – varianta 3).

Randamentul sistemului centralizat de încălzire este:

$$\eta = \frac{\Phi_C}{\Phi_F} = \frac{\Phi_C}{\Phi_C + \Phi_P} = \frac{E_R \cdot (1 - E_C)}{1 - E_R^2 \cdot E_C} \quad (\text{XI.4})$$

Cota pierderilor rețelei de distribuție ( $\xi$ ) este raportul dintre pierderile termice ale rețelei de distribuție ( $\Phi_P$ ) și puterea termică utilă livrată consumatorului de către instalația de încălzire centrală ( $\Phi_C$ ):

$$\xi = \frac{\Phi_P}{\Phi_C} = \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right) = \frac{(1 - E_R) \cdot (1 + E_R \cdot E_C)}{E_R \cdot (1 - E_C)} \quad (XI.5)$$

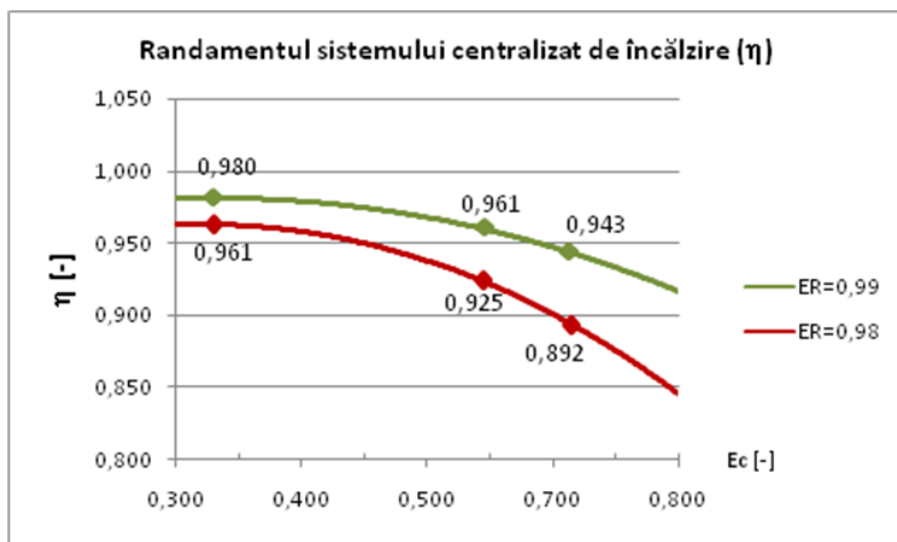


Figura XI.2 Randamentul sistemului centralizat de încălzire ( $\eta$ ) în funcție de modulul termic aferent instalației de încălzire a consumatorului ( $E_C$ ) și de cel aferent rețelei termice de distribuție ( $E_R$ )

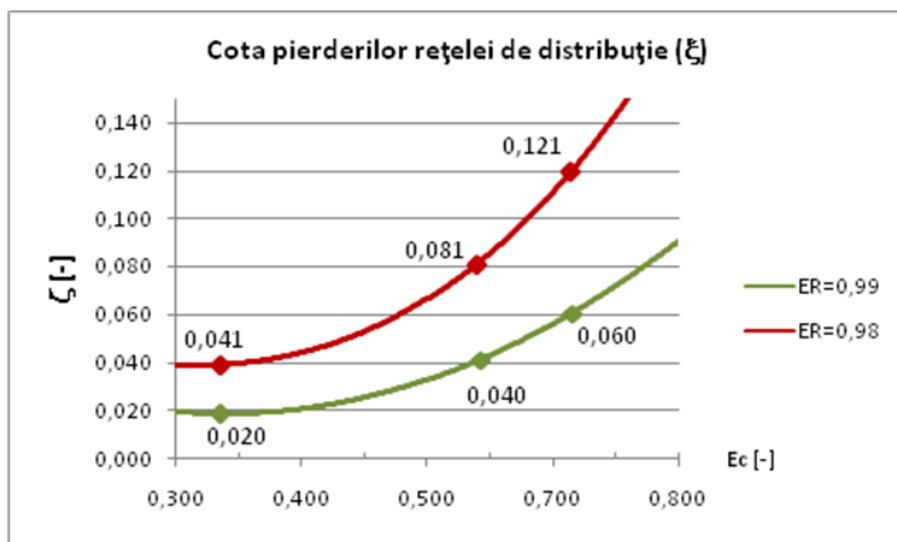


Figura XI.3 Cota pierderilor termice aferente rețelei de distribuție ( $\xi$ ) în funcție de modulul termic aferent instalației de încălzire a consumatorului ( $E_C$ ) și de cel aferent rețelei termice de distribuție ( $E_R$ )

Dacă dimensionarea instalației de încălzire centrală a consumatorului se face pentru setul de temperaturi nominale ale agentului termic 90/70 °C, randamentul sistemului centralizat de încălzire este de circa 89%, iar pierderile termice aferente rețelei termice de distribuție sunt de aproximativ 12%, iar dacă dimensionarea instalației de încălzire centrală a consumatorului se face pentru setul de temperaturi nominale ale agentului termic 50/30 °C, randamentul sistemului centralizat de încălzire este de circa 96%, iar cota de pierderi termice aferente rețelei termice de distribuție este de

4%, aceste valori fiind valabile pentru o rețea termică de distribuție al cărei modul termic este  $E_R = 0,98$ .

Fluxul termic pierdut în rețeaua de distribuție în cele 3 variante este:

$$\begin{aligned}\Phi_{P1} &= \xi_1 \cdot \Phi_C \\ \Phi_{P2} &= \xi_2 \cdot \Phi_C \\ \Phi_{P3} &= \xi_3 \cdot \Phi_C\end{aligned}\tag{XI.8}$$

Economiile energetice pe toată perioada sezonului rece se calculează ca fiind:

$$\begin{aligned}\Delta Q_{P12} &= \int \Delta \Phi_{P12} \cdot d\tau = (\xi_1 - \xi_2) \cdot H \cdot \int (t_{i0} - t_e) \cdot d\tau \\ \Delta Q_{P13} &= \int \Delta \Phi_{P13} \cdot d\tau = (\xi_1 - \xi_3) \cdot H \cdot \int (t_{i0} - t_e) \cdot d\tau\end{aligned}\tag{XI.10}$$

Considerând un consumator caracterizat prin  $H = 1 \text{ W/K}$  și un sezon de încălzire caracterizat prin valorile din tabelul de mai jos, se obțin următoarele economii:

Tabelul XI.2 Economii obținute prin reducerea temperaturii nominale a agentului termic

| $t_i$ | $t_e$ | Nr. zile | Q     | Qp1   | Qp2   | Qp3 | Qp1-Qp2 | Econ(1-2) | Qp1-Qp3 | Econ(1-3) |
|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-----|---------|-----------|---------|-----------|
| (°C)  | (°C)  | -        | (kWh) | (kWh) | (kWh) | Qp3 | (kWh)   | (Euro)    | (kWh)   | (Euro)    |
| 20    | -15   | 2        | 1,68  |       |       |     |         |           |         |           |
| 20    | -10   | 11       | 7,92  |       |       |     |         |           |         |           |
| 20    | -5    | 32       | 19,2  |       |       |     |         |           |         |           |
| 20    | 0     | 60       | 28,8  |       |       |     |         |           |         |           |
| 20    | 5     | 53       | 19,08 |       |       |     |         |           |         |           |
| 20    | 10    | 24       | 5,76  |       |       |     |         |           |         |           |
|       |       |          | 82,44 | 10,0  | 6,7   | 3,3 | 3,3     | 0,33      | 6,7     | 0,67      |

Considerând un cost al energiei termice de 0,1 euro/kWh, rezultă o economie de 3,3 kWh/an în cazul variantei 2, ceea ce înseamnă o economie de 0,33 euro/an, și o economie de 6,7 kWh/an în cazul variantei 3, ceea ce înseamnă o economie de 0,67 euro/an. Suprafața instalată a fost cu 0,042 m<sup>2</sup> mai mare în cazul variantei 2 față de varianta 1 și cu 0,167 m<sup>2</sup> mai mare în cazul variantei 3 față de varianta 1. Considerând că 1 m<sup>2</sup> de suprafață de corp de încălzire instalat costă circa 30 euro/m<sup>2</sup>, înseamnă că diferența de suprafață de corpuri de încălzire de 0,042 m<sup>2</sup> ar costa circa 1,25 euro. În acest caz, investiția suplimentară se recuperează în 1,25/0,33 = 3,8 ani în cazul variantei 2 și în 5/0,66 = 7,5 ani în cazul variantei 3.

Tabelul XI.3 Durata de recuperare a investiției în cele trei variante

| Varianta | Durata de recuperare (ani) |
|----------|----------------------------|
| 90/70    | 0.0                        |
| 70/50    | 3.8                        |
| 50/30    | 7.5                        |

O variantă foarte bună din punct de vedere energetic, care poate fi abordată pentru dimensionarea instalațiilor de încălzire centrală, este reprezentată de setul de temperaturi nominale  $t_{T0}/t_{R0} = 70/50^\circ\text{C}$ . Investiția suplimentară în suprafața instalației de încălzire se recuperează destul de

repede, în circa 3,5-4,0 ani. Considerăm că reducerea și mai accentuată a temperaturilor nominale ale agentului termic poate continua până la setul de temperaturi nominale  $t_{T0}/t_{R0} = 60/40$  °C. Sub aceste valori de temperatură se intră în domeniul încălzirii de joasă temperatură de pardoseală sau de plafon.

## XII Concluzii

1. Spațiile încălzite din blocurile reabilite termic se supraîncălzesc dacă sunt alimentate cu agent termic la aceiași parametri ca și cele din blocurile a căror performanță energetică nu a fost îmbunătățită. Alimentarea cu agent termic de temperatură ridicată a clădirilor cu consum redus de energie este total ineficientă din punct de vedere economic. Ineficiența se referă la mai multe aspecte ale funcționării sistemului, și anume:
  - pierderile de căldură în conducte sunt mai mari decât în situația alimentării consumatorilor cu agent termic la temperatura corespunzătoare nevoilor acestora
  - dacă pompele de circulație a agentului termic nu sunt dotate cu convertizoare de frecvență, închiderea robinetelor termostactice la consumator are ca efect creșterea temperaturii pe conducta de retur a sistemului, lucru nedorit în sistemele de producere bazate pe cogenerare
  - funcționarea sistemului la temperaturi mai mari decât este necesar duce la apariția unor eforturi mai mari în conducte și în celelalte componente ale sistemelor, care conduc la uzura mai rapidă a acestora și la creșterea cheltuielilor aferente mentenanței.
2. Reabilitarea termică a clădirii, însoțită de alimentarea cu agent termic de temperatură corespunzătoare noului necesar de căldură al clădirii, poate aduce beneficii importante, eficiența energetică a utilizării energiei crescând cu circa 40% pentru o clădire situată în zona climatică 2, având anterior reabilitării un consum de energie termică pentru încălzire de 1 MW și al cărei grad de reabilitare termică este  $H/H_0=0,6$ . Aceste beneficii pot fi obținute cu eforturi minime de investiție.
3. Randamentul sistemului de distribuție a agentului termic este cu atât mai ridicat cu cât temperaturile nominale ale agentului termic sunt mai scăzute. Randamentul sistemului de distribuție este și mai ridicat în cazul unui ecart de temperatură mai mare.
4. Având o rețea termică de distribuție ale cărei caracteristici constructive sunt cunoscute, se poate stabili prin calcul modulul termic echivalent proiectat al rețelei respective. Prin măsurarea temperaturii la sursa de căldură și la capetele rețelei (la consumatori), se poate determina modulul termic echivalent real (efectiv) al rețelei termice. Prin compararea celor două valori, se poate aprecia gradul de depreciere a gradului de izolare și eficiența reală a rețelei de distribuție, comparativ cu cea proiectată.
5. Anveloparea termică și furnizarea unui agent termic de temperatură mai scăzută, corespunzător gradului de reabilitare termică, conduc la reduceri semnificative ale consumurilor energetice orare și anuale. Un studiu de caz efectuat pe o clădire având un consum energetic pentru încălzire de 1 MW (anterior reabilitării) conduce la concluzia că anveloparea termică a clădirii, însoțită de furnizarea de agent termic de temperatură scăzută, duce la reducerea consumurilor energetice anuale pentru încălzire de circa 20% în cazul  $H/H_0=0,8$ , de circa 40% în cazul

$H/H_0=0,6$  și de circa 60% în cazul  $H/H_0=0,4$ . Pentru un grad de reabilitare a clădirii  $H/H_0 > 0,55$ , corectarea graficului de reglare a furnizării căldurii are o pondere mai importantă în reducerea procentuală a consumului energetic decât reabilitarea termică a clădirii, iar pentru un grad de reabilitare al clădirii  $H/H_0 < 0,55$ , ponderea celor două componente se inversează și reabilitarea termică a clădirii devine predominantă.

6. Pe durata unui sezon de încălzire, pierderile termice ale rețelelor de distribuție se reduc semnificativ dacă blocurile reabilite termic sunt alimentate cu agent termic de temperatură corespunzătoare graficului de reglare corectat, comparativ cu situația în care acestea ar fi alimentate cu agent termic având temperatura corespunzătoare graficului de reglare aferent clădirilor nereabilite. Analiza efectuată pentru o ramură a unui sistem de distribuție care alimentează trei blocuri de locuit din municipiul București arată că, pe durata unui sezon de încălzire, pierderile termice ale rețelelor de distribuție se reduc cu 31,6% dacă blocurile reabilite termic sunt alimentate cu agent termic de temperatură corespunzătoare graficului de reglare corectat, comparativ cu situația în care acestea ar fi alimentate cu agent termic având temperatura corespunzătoare graficului de reglare aferent clădirilor nereabilite.
7. Pentru alimentarea clădirilor reabilite termic cu agent termic de temperatură corespunzătoare noului necesar de căldură este necesar să se analizeze fiecare caz în parte și să se aleagă soluția cea mai eficientă din punct de vedere economic. Se pot propune soluții simple, care nu impun investiții noi în echipamente și materiale.
8. Pentru alimentarea clădirilor nereabilite termic cu agent termic de temperatură redusă se poate efectua, pentru fiecare caz în parte, o analiză tehnico-economică în vederea măririi suprafeței de încălzire. Analiza cost-beneficiu se va face prin compararea beneficiilor rezultate prin reducerea pierderilor termice în conductele de distribuție cu costurile reprezentate de investiția suplimentară în vederea creșterii suprafeței corpurilor de încălzire. Analiza energetică și economică efectuată asupra unui sistem centralizat de încălzire care alimentează instalații de încălzire centrală dimensionate la temperaturi ale agentului termic de  $t_{i0}/t_{r0} = 90/70$  °C,  $t_{i0}/t_{r0} = 70/50$  °C,  $t_{i0}/t_{r0} = 50/30$  °C conduce la concluzia că investițiile suplimentare aferente suprafeței suplimentare de încălzire în ultimele 2 variante față de varianta 1 se recuperează în circa 4 ani și respectiv circa 8 ani, durate semnificativ mai mici decât durata de viață a sistemelor centralizate de încălzire.

### **XIII Contribuții personale și posibilități de continuare a cercetărilor**

Contribuția personală a autorului la analiza creșterii eficienței sistemelor centralizate de alimentare cu energie termică se regăsește în următoarele aspecte:

- Evaluarea și analiza defalcată a beneficiilor energetice realizate exclusiv prin reabilitarea anvelopei clădirilor, exclusiv prin corectarea graficului de reglaj termic centralizat corespunzător furnizării noilor puteri termice necesare, respectiv prin aplicarea combinată a ambelor măsuri de reabilitare;
- Identificarea experimentală a modului termic al ramurilor de rețea ale sistemelor centralizate de încălzire, parametru util în evaluările energetice aferente rețelelor termice de distribuție;
- Evaluarea și analiza privind efectul reducerii temperaturilor agentului termic asupra pierderilor termice ale rețelelor termice de distribuție a căldurii;
- Analiza privind influența temperaturii agentului termic asupra randamentului sistemului centralizat de alimentare cu energie termică a consumatorilor urbani;
- Analiza schemelor constructive și funcționale existente de alimentare cu agent termic pentru încălzire a clădirilor reabilite termic în vederea furnizării de agent termic de temperatură scăzută, corespunzător noului necesar de căldură al acestora.
- Propuneri de soluții de racordare a clădirilor reabilite termic la rețeaua de distribuție existentă, care alimentează atât consumatori reabilitați, cât și consumatori nereabilitați termic.

Cercetările pot fi continuate prin:

- extinderea analizei privind creșterea eficienței sistemelor centralizate de alimentare cu energie termică la sistemul de transport al căldurii (rețeaua primară);
- extinderea analizei prin determinarea reducerii pierderilor termice în sistemul de transport al căldurii (rețelele termice primare);
- analiza eficienței globale a sistemelor centralizate de alimentare cu energie termică, înainte și după reabilitarea termică a clădirilor, cu și fără utilizarea agentului termic de temperatură scăzută;
- extinderea analizei la sisteme centralizate de încălzire amplasate în alte zone climatice (zonele 1, 3, 4 sau 5);
- realizarea unei analize cost-beneficiu, determinându-se indicatorii care să demonstreze eficiența economică a utilizării unui agent termic de temperatură scăzută.

#### XIV Simboluri și abrevieri

|                   |                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\dot{Q}_0$       | = necesarul de căldură de calcul (în condiții nominale) [W]                                                                                                                                           |
| H                 | = coeficient complex de cuplaj termic prin anvelopa clădirii [W/K]                                                                                                                                    |
| H <sub>0</sub>    | = coeficient complex de cuplaj termic prin anvelopa clădirii în cazul clădirii nereabilitate termic [W/K]                                                                                             |
| t <sub>i0</sub>   | = temperatura interioară convențională de calcul, determinată ca temperatura predominantă între temperaturile interioare convenționale de calcul din încăperile clădirii, conform SR 1907/2-2014 [°C] |
| t <sub>e</sub>    | = temperatura exterioară [°C]                                                                                                                                                                         |
| t <sub>e0</sub>   | = temperatura exterioară convențională de calcul, determinată în funcție de zona climatică, conform SR 1907/1-2014 [°C]                                                                               |
| t <sub>t</sub>    | = temperatura pe conductă de tur (ducere) a agentului termic de distribuție (secundar) [°C]                                                                                                           |
| t <sub>t0</sub>   | = temperatura pe conductă de tur (ducere) a agentului termic de distribuție (secundar) în condiții nominale (la temperatura exterioară de calcul) [°C]                                                |
| t <sub>r</sub>    | = temperatura pe conductă de retur (întoarcere) a agentului termic de distribuție (secundar) [°C]                                                                                                     |
| t <sub>r0</sub>   | = temperatura pe conductă de retur (întoarcere) a agentului termic de distribuție (secundar) în condiții nominale (la temperatura exterioară de calcul) [°C]                                          |
| t <sub>ml</sub>   | = temperatura medie logaritmică a agentului termic [°C]                                                                                                                                               |
| Δt <sub>ml</sub>  | = diferența medie logaritmică de temperatură dintre fluidele între care se realizează transferul de căldură [°C]                                                                                      |
| Δt <sub>ml0</sub> | = diferența medie logaritmică de temperatură dintre fluidele între care se realizează transferul de căldură în condiții nominale [°C]                                                                 |
| k                 | = coeficientul global de transfer termic [W/m <sup>2</sup> K]                                                                                                                                         |
| k <sub>0</sub>    | = coeficientul global de transfer în condiții nominale [W/m <sup>2</sup> K]                                                                                                                           |
| G                 | = debitul de agent termic [m <sup>3</sup> /s]                                                                                                                                                         |
| G <sub>0</sub>    | = debitul nominal de agent termic [m <sup>3</sup> /s]                                                                                                                                                 |
| ρ                 | = densitatea agentului termic [kg/m <sup>3</sup> ]                                                                                                                                                    |
| c                 | = capacitatea termică specifică a apei [W·s/kg·K]                                                                                                                                                     |
| S                 | = suprafața de transfer termic [m <sup>2</sup> ]                                                                                                                                                      |
| NTU               | = number of thermal units (numărul de unități de transfer termic) [-] (adimensional)                                                                                                                  |
| NTU <sub>0</sub>  | = numărul de unități de transfer termic în condiții nominale [-] (adimensional)                                                                                                                       |
| E                 | = modulul termic al instalației de încălzire [-] (adimensional)                                                                                                                                       |
| E <sub>0</sub>    | = modulul termic al instalației de încălzire în condiții nominale [-] (adimensional)                                                                                                                  |
| E <sub>C</sub>    | = modulul termic al instalației de încălzire a consumatorului [-] (adimensional)                                                                                                                      |
| E' <sub>C</sub>   | = modulul termic al schimbătorului de căldură pentru încălzire din punctul termic [-] (adimensional)                                                                                                  |
| E <sub>R</sub>    | = modulul termic al rețelei termice de distribuție [-] (adimensional)                                                                                                                                 |
| E' <sub>R</sub>   | = modulul termic al rețelei termice de transport [-] (adimensional)                                                                                                                                   |

|                             |                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $t_T$                       | = temperatura pe conducta de tur (ducere) a agentului termic de transport (primar) [ $^{\circ}\text{C}$ ]                                                                  |
| $t_{T0}$                    | = temperatura pe conducta de tur (ducere) a agentului termic de transport (primar) în condiții nominale (la temperatura exterioară de calcul) [ $^{\circ}\text{C}$ ]       |
| $t_R$                       | = temperatura pe conducta de retur (întoarcere) a agentului termic de transport (primar) [ $^{\circ}\text{C}$ ]                                                            |
| $t_{R0}$                    | = temperatura pe conducta de retur (întoarcere) a agentului termic de transport (primar) în condiții nominale (la temperatura exterioară de calcul) [ $^{\circ}\text{C}$ ] |
| $P$                         | = puterea termică pentru încălzirea clădirii [MW]                                                                                                                          |
| $P_0$                       | = puterea termică nominală pentru încălzirea clădirii [MW]                                                                                                                 |
| $Q_C$                       | = puterea termică utilizată de consumator [W]                                                                                                                              |
| $Q_{\text{sursă}}$          | = puterea termică livrată de sursă [W]                                                                                                                                     |
| $Q_p$                       | = puterea termică pierdută din rețelele de distribuție a căldurii [W]                                                                                                      |
| $\eta$                      | = randamentul sistemului centralizat de alimentare cu energie termică [-] (adimensional)                                                                                   |
| $\eta_{SD}$                 | = randamentul sistemului de distribuție a căldurii [-] (adimensional)                                                                                                      |
| $\eta_{ST}$                 | = randamentul sistemului de transport al căldurii [-] (adimensional)                                                                                                       |
| $R$                         | = rezistența termică liniară medie a rețelei termice sau a unui tronson aparținând acestuia [ $\text{m}\cdot\text{K}/\text{W}$ ]                                           |
| $\lambda_t$                 | = conductivitatea termică a peretelui țevii [ $\text{W}/\text{mK}$ ]                                                                                                       |
| $\lambda_{iz}$              | = conductivitatea termică a stratului de izolație a conductei [ $\text{W}/\text{mK}$ ]                                                                                     |
| $\lambda_s$                 | = conductivitatea termică a solului [ $\text{W}/\text{mK}$ ]                                                                                                               |
| $L$                         | = lungimea tronsonului de conductă [m]                                                                                                                                     |
| $\Delta t_{\text{ml, sol}}$ | = diferența medie logaritmică de temperatură dintre agentul termic și solul în care este îngropată conducta [K]                                                            |
| $E_{\text{sch}}$            | = modulului termic echivalent al unei rețele termice [-] (adimensional)                                                                                                    |
| $t_m$                       | = media temperaturilor agentului termic la consumatorii alimentați                                                                                                         |
| $t_0$                       | = temperatura agentului termic la ieșirea din punctul termic                                                                                                               |
| $t_s$                       | = temperatura ambiantă din canalul termic, respectiv temperatura solului pentru conductele preizolate montate direct în pământ                                             |
| $D_i$                       | = diametrul interior al conductei [m]                                                                                                                                      |
| $D_e$                       | = diametrul exterior al conductei [m]                                                                                                                                      |
| $\delta_t$                  | = grosimea peretelui conductei [m]                                                                                                                                         |
| $\delta_{iz}$               | = grosimea stratului de izolație termică [m]                                                                                                                               |
| $D_{iz}$                    | = diametrul conductei peste stratul de izolație termică [m]                                                                                                                |
| $\alpha_i$                  | = coeficient de transfer termic convectiv [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]                                                                                                |
| $\lambda_t$                 | = conductivitatea termică a peretelui conductei [ $\text{W}/\text{mK}$ ]                                                                                                   |
| $\lambda_{iz}$              | = conductivitatea termică a stratului de izolație termică [ $\text{W}/\text{mK}$ ]                                                                                         |
| $\lambda_s$                 | = conductivitatea termică a solului [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]                                                                                                      |
| $R_{PTS}$                   | = raportul puterilor termice specifice [-] (adimensional)                                                                                                                  |
| $G$                         | = coeficientul global de izolare termică al clădirii [ $\text{W}/\text{m}^3\cdot\text{K}$ ]                                                                                |

$V$  = volumul clădirii [ $m^3$ ]  
 $S$  = suprafața anvelopei termice [ $m^2$ ]  
 $R_m$  = rezistența termică medie a anvelopei clădirii [ $m^2 \cdot K/W$ ]  
 $n_a$  = numărul mediu de schimburi de aer pe oră [ $h^{-1}$ ]  
 SACET = sistem de alimentare centralizată cu energie termică

 - Conductă de agent termic primar  
 - Conductă de agent termic secundar (încălzire)  
 - Conductă de apă rece  
 - Conductă de apă caldă de consum

RPD



- Regulator direct de presiune diferențială



- Supape de siguranță

Y1, Y2



- Robinet de reglare cu trei căi, de amestec sau de separare, cu acționare electrică

RRinj



- Robinet de reglare cu două căi, cu acționare electrică

M



- Manometru

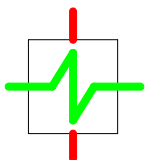
T



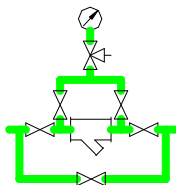
- Termometru



- Pompă



- Schimbător de căldură



- Filtru de impurități

$t_t$



- Sondă de temperatură

## XV Referințe

- [1] Bahar Saeb-Gilani, Barbara Giorgi, Max Bachmann and Martin Kriegel, Potential analysis of heat sharing at different temperature levels in a district, CLIMA 2016 - proceedings of the 12th REHVA World Congress: volume 3. Aalborg: Aalborg University, Department of Civil Engineering  
[http://vbn.aau.dk/files/233716906/paper\\_320.pdf](http://vbn.aau.dk/files/233716906/paper_320.pdf)
- [2] European Commission - Energy Research Knowledge Centre, Smart District Heating and Cooling, 2014  
[https://setis.ec.europa.eu/energy-research/sites/default/files/library/ERKC\\_%20TRS\\_Smart\\_District\\_HC.pdf](https://setis.ec.europa.eu/energy-research/sites/default/files/library/ERKC_%20TRS_Smart_District_HC.pdf)
- [3] Henrik Lund, Sven Werner, Robin Wiltshire, Svend Svendsen, Jan Eric Thorsen, Frede Hvelplund, Brian Vad Mathiesen, 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems, Energy, Volume 68, 15 April 2014, Pages 1-11, ISSN 0360-5442,  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089>.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544214002369>
- [4] Frost and Sullivan, Energy and Power Systems, Smart Thermal Grids, 2016  
<http://www.frost.com/sublib/display-report.do?id=D961-00-05-00-00>
- [5] Ralf-Roman Schmidt, Nicolas Fevrier, Philippe DUMAS, Key to Innovation Integrated Solution. Smart Thermal Grids, November, 2013, Version 2: - Smart Cities Stakeholder Platform  
<https://eu-smartcities.eu/sites/all/files/Smart%20Thermal%20Grids%20-%20Smart%20Cities%20Stakeholder%20Platform.pdf>
- [6] R.R. Schmidt, O. Pol, D. Basciotti, J. Page, Smart thermal networks for smart cities – Introduction of concepts and measures, EPJ Web of Conferences 33 04002 (2012), EDP Sciences, 2012 <http://www.epj-conferences.org> <http://dx.doi.org/10.1051/epjconf/20123304002>
- [7] Cristina Stănișteanu, “Smart Thermal Grids – A Review”, De Gruyter Open, 2016, DOI 10.1515/SBEEF-2016-0030  
<https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/sbreef.ahead-of-print/sbreef-2016-0030/sbreef-2016-0030.pdf>
- [8] Ralf-Roman Schmidt, The role of thermal grids in the Smart City – presentation at IEA CHP/DHC Collaborative & Clean Energy, Ministerial CHP/DHC Working Group Joint Strategic Workshop, 27-28 May 2014  
[https://www.iea.org/media/workshops/2014/chpdhcmayworkshop/VIII\\_SMARTCITIES\\_EHP\\_270514CHPDHC.pdf](https://www.iea.org/media/workshops/2014/chpdhcmayworkshop/VIII_SMARTCITIES_EHP_270514CHPDHC.pdf)
- [9] E.H.A. Van Vliet, Flexibility in heat demand at the TU Delft campus smart thermal grid with phase change materials, Master of Science Thesis, Process & Energy Department, Mechanical, Maritime and Materials Engineering, Delft University of Technology, 2013  
[http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:727209bf-8f38-4914-a9d8-0dc68ee38acb/Thesis\\_Edwin\\_van\\_Vliet\\_2013\\_.pdf](http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:727209bf-8f38-4914-a9d8-0dc68ee38acb/Thesis_Edwin_van_Vliet_2013_.pdf)
- [10] European Commission – Thematic research summary – Smart district heating and cooling, septembrie 2014, raport elaborat de Energy Research Knowledge Centre (ERKC)  
[https://setis.ec.europa.eu/energy-research/sites/default/files/library/ERKC\\_%20TRS\\_Smart\\_District\\_HC.pdf](https://setis.ec.europa.eu/energy-research/sites/default/files/library/ERKC_%20TRS_Smart_District_HC.pdf)
- [11] IEA DHC/CHP Annex IX - District Heating for Energy Efficient Building Areas, Kari Sipilä presentation, 30.06.2011  
[http://www.districtenergy.org/assets/pdfs/2011Annual\\_Conf/Proceedings/B45-SIPILAEIDEA-2011-Kari-Sipilae-ConferenceTorontoIEA-Annex-IXVTT27-29062011.pdf](http://www.districtenergy.org/assets/pdfs/2011Annual_Conf/Proceedings/B45-SIPILAEIDEA-2011-Kari-Sipilae-ConferenceTorontoIEA-Annex-IXVTT27-29062011.pdf)
- [12] IEA Annex X Final report - Toward 4th Generation District Heating: Experience and Potential of Low-Temperature District Heating, 2014 Authors: Alessandro Dalla Rosa, Hongwei Li, Svend Svendsen, Sven Werner, Urban Persson, Karin Ruehling, Clemens Felsmann, Martin Crane, Robert Burzynski, Ciro Bevilacqua  
[http://energia.fi/sites/default/files/iea\\_annex\\_x\\_final\\_report\\_2014\\_-\\_toward\\_4th\\_generation\\_district\\_heating.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/iea_annex_x_final_report_2014_-_toward_4th_generation_district_heating.pdf)

- [13] IEA DHC-CHP - Transformation roadmap from high to low temperature district heating system [http://www.iea-dhc.org/fileadmin/documents/Annex\\_X/IEA\\_DHC\\_2014\\_-\\_4th\\_gen.\\_DH\\_presentation.ppt](http://www.iea-dhc.org/fileadmin/documents/Annex_X/IEA_DHC_2014_-_4th_gen._DH_presentation.ppt)
- [14] ECBCS Annex 49 Final Report - Low Exergy Systems for High-Performance Buildings and Communities, Detailed Exergy Assessment Guidebook for the Built Environment, Fraunhofer IBP 2011 [http://www.annex49.info/download/Annex49\\_guidebook.pdf](http://www.annex49.info/download/Annex49_guidebook.pdf)
- [15] Hovedrapport Energistyrelsen - EFP 2007 Udvikling og demonstration af Lavenergi-fjernvarme til Lavenergibyggere [www.teknologisk.dk/ root/media/34221\\_EFP%202007.pdf](http://www.teknologisk.dk/root/media/34221_EFP%202007.pdf)
- [16] Christian Holm Christiansen, Danish Technological Institute cnc@teknologisk.dk – „Low temperature networks: Concept, demonstration and guideline” presentation at DHC+ 2nd International Research Conference, 5-6 noiembrie 2013 [http://www.lsta.lt/files/events/2013-11-05-06\\_EHP\\_Briuselis/2013-11-05\\_pranesimai/11\\_131105\\_3B\\_1600\\_1730+Christiansen.pdf](http://www.lsta.lt/files/events/2013-11-05-06_EHP_Briuselis/2013-11-05_pranesimai/11_131105_3B_1600_1730+Christiansen.pdf)
- [17] Delrapport 3 Energistyrelsen - EUDP 2008-II "CO2-reductions in low-energy buildings and communities by implementation of low-temperature district heating systems. Demonstration cases in EnergyFlexHouse and Boligforeningen Ringgården." (2011) Journalnr. 63011-0152 [https://setis.ec.europa.eu/energy-research/sites/default/files/project/docs/byg\\_r251.pdf](https://setis.ec.europa.eu/energy-research/sites/default/files/project/docs/byg_r251.pdf)
- [18] Hovedrapport Energistyrelsen – EUDP 2010-II Journalnr. 64010-0479 „Fuldskalademonstration af lavtemperatur-fjernvarme i eksisterende bebyggelser” (Full-scale demonstration of low-temperature heating in existing buildings), iunie 2014 <http://www.danskfjernvarme.dk/~media/danskfjernvarme/gronenergi/projekter/eudp-lavtemperatur%20fjv/eudp%20lavtemp%20fjv%20-%20hovedrapport.pdf>
- [19] Guidelines for Low-Temperature District Heating deliverable of the project “Full-scale demonstration of low temperature district heating in existing buildings” (In Danish: “Fuldskala demonstration af lavtemperatur fjernvarme i eksisterende bebyggelser”) financial supported by the Danish Energy Agency in the R&D programme EUDP (Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrations Program), EUDP 2010-II project Journal No. 64010-0479, 2014 [https://setis.ec.europa.eu/energy-research/sites/default/files/project/docs/Guidelines%20for%20LTDH-final\\_rev1.pdf](https://setis.ec.europa.eu/energy-research/sites/default/files/project/docs/Guidelines%20for%20LTDH-final_rev1.pdf)
- [20] <http://www.4dh.dk/>
- [21] <http://www.ecolife-project.eu/index.html>
- [22] René Verhoeven, Eric Willems, Virginie Harcouët-Menou, Eva De Boever, Louis Hiddes, Peter Op't Veld, Elianne Demollin, Minewater 2.0 Project in Heerlen the Netherlands: Transformation of a Geothermal Mine Water Pilot Project into a Full Scale Hybrid Sustainable Energy Infrastructure for Heating and Cooling, Energy Procedia, Volume 46, 2014, Pages 58-67, ISSN 1876-6102, <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.158>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021400174X>
- [23] Dutch Smart Thermal Grid, Towards a sustainable heat supply (2016) [www.marcovermeulen.eu/files/?file=/files/1505...SmartThermalGrid\\_EN...pdf](http://www.marcovermeulen.eu/files/?file=/files/1505...SmartThermalGrid_EN...pdf)
- [24] Jonna Zwetsloot - The Hague's Heat Initiative, Towards a smart thermal grid, a dissertation submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Professional Doctorate of Engineering, 2016, ISBN: 978-90-444-144-0 [https://pure.tue.nl/ws/files/19399560/2016\\_02\\_12\\_SEBC\\_Zwetsloot\\_J.pdf](https://pure.tue.nl/ws/files/19399560/2016_02_12_SEBC_Zwetsloot_J.pdf)
- [25] Robin Wiltshire, BRE - International Energy Agency (IEA) research on district heating, presentation 2013 [http://www.heatandthecity.org.uk/\\_data/assets/pdf\\_file/0003/102000/Wiltshire-IEA\\_Research\\_on\\_District\\_Heating.pdf](http://www.heatandthecity.org.uk/_data/assets/pdf_file/0003/102000/Wiltshire-IEA_Research_on_District_Heating.pdf)
- [26] Katharina Link, Roland Wyss, Matthias Kolb - Minimization of primary energy consumption and CO2 emissions by smart geothermal applications – examples from Switzerland (presentation at Central and South American Workshop on Geothermal Energy Cuernavaca, Mexico 18 - 19 April 2016) <http://iea-gia.org/wp-content/uploads/2016/05/1-11-Link-Smart-Geothermal-Applications-%E2%80%93-Switzerland.pdf>

- [27] Matthias Kolb - Operational Experience with Low Temperature Networks in Zurich, Switzerland (presentation in Geneva, 30.10.2015) <http://iea-gia.org/wp-content/uploads/2016/05/1-11-Link-Smart-Geothermal-Applications-%E2%80%93-Switzerland.pdf>
- [28] Soma Mohammadi, Department of Energy Technology, Aalborg University, Denmark PhD Thesis "Conversion of Existing District Heating Grids to Low-Temperature Operation and Extension to new Areas of Buildings", 06.10.2016.  
[http://www.en.aau.dk/digitalAssets/229/229173\\_soma-mohammadi.pdf](http://www.en.aau.dk/digitalAssets/229/229173_soma-mohammadi.pdf)  
<http://www.en.aau.dk/events/event/phd-defence-by-soma-mohammadi-on-conversion-of-existing-district-heating-grids-to-low-temperature-operation-and-extension-to-new-areas-of-buildings.cid279477>  
[http://www.4dh.dk/images/projects/Conversion\\_of\\_existing\\_DH\\_systems/4dh\\_presentation\\_FV.pdf](http://www.4dh.dk/images/projects/Conversion_of_existing_DH_systems/4dh_presentation_FV.pdf)
- [29] Hakan İbrahim Tol, Svend Svendsen, Effects of boosting the supply temperature on pipe dimensions of low-energy district heating networks: A case study in Gladsaxe, Denmark, Energy and Buildings, Volume 88, 1 February 2015, Pages 324-334, ISSN 0378-7788, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.067>
- [30] Ivar Baldvinsson, Toshihiko Nakata, A feasibility and performance assessment of a low temperature district heating system – A North Japanese case study, Energy, Volume 95, 15 January 2016, Pages 155-174, ISSN 0360-5442  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.11.057>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544215016205>
- [31] Wei Wu, Wenxing Shi, Xianting Li, Baolong Wang, Air source absorption heat pump in district heating: Applicability analysis and improvement options, Energy Conversion and Management, Volume 96, 15 May 2015, Pages 197-207, ISSN 0196-8904, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2015.02.068>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890415001892>
- [32] Poul Alberg Østergaard, Anders N. Andersen, Booster heat pumps and central heat pumps in district heating, Applied Energy, Available online 19 March 2016, ISSN 0306-2619, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.144>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261916303105>
- [33] Qian Wang, Sture Holmberg, Combined Retrofitting with Low Temperature Heating and Ventilation Energy Savings, Energy Procedia, Volume 78, November 2015, Pages 1081-1086, ISSN 1876-6102, <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.055>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215017877>
- [34] Herena Torío, Dietrich Schmidt, Development of system concepts for improving the performance of a waste heat district heating network with exergy analysis, Energy and Buildings, Volume 42, Issue 10, October 2010, Pages 1601-1609, ISSN 0378-7788, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.04.002>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810001210>
- [35] A. Dalla Rosa, R. Boulter, K. Church, S. Svendsen, District heating (DH) network design and operation toward a system-wide methodology for optimizing renewable energy solutions (SMORES) in Canada: A case study, Energy, Volume 45, Issue 1, September 2012, Pages 960-974, ISSN 0360-5442, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.06.062>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544212005142>
- [36] Eline Himpe, Arnold Janssens, Julio Efrain Vaillant Rebollar, Energy and Comfort Performance Assessment of Monitored Low Energy Buildings Connected to Low-temperature District Heating, Energy Procedia, Volume 78, November 2015, Pages 3465-3470, ISSN 1876-6102, <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.331>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215030052>
- [37] Marek Brand, Alessandro Dalla Rosa, Svend Svendsen, Energy-efficient and cost-effective in-house substations bypass for improving thermal and DHW (domestic hot water) comfort in bathrooms in low-energy buildings supplied by low-temperature district heating, Energy, Volume 67, 1 April 2014, Pages 256-267, ISSN 0360-5442, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.01.064>

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544214000863>

- [38] Antonio Colmenar-Santos, Enrique Rosales-Asensio, David Borge-Diez, Eduardo Collado-Fernández, Evaluation of the cost of using power plant reject heat in low-temperature district heating and cooling networks, *Applied Energy*, Volume 162, 15 January 2016, Pages 892-907, ISSN 0306-2619, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.161>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261915014038>
- [39] D. Connolly, H. Lund, B.V. Mathiesen, S. Werner, B. Möller, U. Persson, T. Boermans, D. Trier, P.A. Østergaard, S. Nielsen, Heat Roadmap Europe: Combining district heating with heat savings to decarbonise the EU energy system, *Energy Policy*, Volume 65, February 2014, Pages 475-489, ISSN 0301-4215, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.035>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513010574>
- [40] Arefeh Hesarakhi, Adnan Ploskic, Sture Holmberg, Integrating Low-temperature Heating Systems into Energy Efficient Buildings, *Energy Procedia*, Volume 78, November 2015, Pages 3043-3048, ISSN 1876-6102, <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.720>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215024522>
- [41] Brian Elmegaard, Torben Schmidt Ommen, Michael Markussen, Johnny Iversen, Integration of space heating and hot water supply in low temperature district heating, *Energy and Buildings*, Volume 124, 15 July 2016, Pages 255-264, ISSN 0378-7788, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.003>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815302449>
- [42] Gudni Axelsson, Einar Gunnlaugsson, Thorgils Jónasson, Magnús Ólafsson, Low-temperature geothermal utilization in Iceland – Decades of experience, *Geothermics*, Volume 39, Issue 4, December 2010, Pages 329-338, ISSN 0375-6505, <http://dx.doi.org/10.1016/j.geothermics.2010.09.002>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375650510000416>
- [43] M. Köfinger, D. Basciotti, R.R. Schmidt, E. Meissner, C. Doczekal, A. Giovannini, Low temperature district heating in Austria: Energetic, ecologic and economic comparison of four case studies, *Energy*, Available online 15 January 2016, ISSN 0360-5442, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.103>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054421501748X>
- [44] Robin Wiltshire (Building Research Establishment BRE, United Kingdom) – Low temperature district heating systems – Urban Energy Conference, Debrecen, Hungary, 2011  
[http://www.energycity2013.eu/media/Documents%20Centre/WP2/mid-term%20conference/Conference%20papers/14\\_Wiltshire.pdf](http://www.energycity2013.eu/media/Documents%20Centre/WP2/mid-term%20conference/Conference%20papers/14_Wiltshire.pdf)
- [45] Michele Tunzi, Dorte Skaarup Østergaard, Svend Svendsen, Rabah Boukhanouf, Edward Cooper, Method to investigate and plan the application of low temperature district heating to existing hydraulic radiator systems in existing buildings, *Energy*, Volume 113, 15 October 2016, Pages 413-421, ISSN 0360-5442, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.07.033>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544216309574>
- [46] Nguyen Le Truong, Ambrose Doodoo, Leif Gustavsson, Renewable-based heat supply of multi-apartment buildings with varied heat demands, *Energy*, Volume 93, Part 1, 15 December 2015, Pages 1053-1062, ISSN 0360-5442, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.09.087>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544215012979>
- [47] Marek Brand, Svend Svendsen, Renewable-based low-temperature district heating for existing buildings in various stages of refurbishment, *Energy*, Volume 62, 1 December 2013, Pages 311-319, ISSN 0360-5442, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.09.027>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544213007780>
- [48] Dorte Skaarup Østergaard, Svend Svendsen, Replacing critical radiators to increase the potential to use low-temperature district heating – A case study of 4 Danish single-family houses from the 1930s, *Energy*, Available online 7 May 2016, ISSN 0360-5442, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.140>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544216303930>

- [49] Lisa Brand, Alexandra Calvén, Jessica Englund, Henrik Landersjö, Patrick Lauenburg, Smart district heating networks – A simulation study of prosumers' impact on technical parameters in distribution networks, *Applied Energy*, Volume 129, 15 September 2014, Pages 39-48, ISSN 0306-2619, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.04.079>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261914004425>
- [50] Rasmus Lund, Danica Djuric Ilic, Louise Trygg, Socioeconomic potential for introducing large-scale heat pumps in district heating in Denmark, *Journal of Cleaner Production*, Volume 139, 15 December 2016, Pages 219-229, ISSN 0959-6526, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.135>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616310277>
- [51] Maunu Kuosa, Kaisa Kontu, Tapio Mäkilä, Markku Lampinen, Risto Lahdelma, Static study of traditional and ring networks and the use of mass flow control in district heating applications, *Applied Thermal Engineering*, Volume 54, Issue 2, 30 May 2013, Pages 450-459, ISSN 1359-4311, <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.02.018>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431113001233>
- [52] Dorte Skaarup Østergaard, Svend Svendsen, Theoretical overview of heating power and necessary heating supply temperatures in typical Danish single-family houses from the 1900s, *Energy and Buildings*, Volume 126, 15 August 2016, Pages 375-383, ISSN 0378-7788, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.034>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816304030>
- [53] Satu Paiho, Francesco Reda, Towards next generation district heating in Finland, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 65, November 2016, Pages 915-924, ISSN 1364-0321, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.049>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116303768>
- [54] Natasa Nord, Maren E. Ingebretsen, Ivar S. Tryggstad (Norwegian University of Science and Technology) - Possibilities for transition of existing residential buildings to low temperature district heating system in Norway. Conference: CLIMA 2016 - 12th REHVA World Congress, At Aalborg, Denmark, Volume: 3  
[https://www.researchgate.net/publication/306364685\\_Possibilities\\_for\\_Transition\\_of\\_Existing\\_Residential\\_Buildings\\_to\\_Low\\_Temperature\\_District\\_Heating\\_System\\_in\\_Norway](https://www.researchgate.net/publication/306364685_Possibilities_for_Transition_of_Existing_Residential_Buildings_to_Low_Temperature_District_Heating_System_in_Norway)
- [55] Jacopo Vivian, Angelo Zarrella, Michele De Carli - Analysis of a wastewater based low temperature district heating system with booster heat pumps for new and existing residential buildings. Conference: CLIMA 2016 - 12th REHVA World Congress, At Aalborg, Denmark, Volume: 3  
[https://www.researchgate.net/publication/303672889\\_Analysis\\_of\\_a\\_wastewater\\_based\\_low\\_t\\_emperature\\_district\\_heating\\_system\\_with\\_booster\\_heat\\_pumps\\_for\\_new\\_and\\_existing\\_reside ntial\\_buildings](https://www.researchgate.net/publication/303672889_Analysis_of_a_wastewater_based_low_t_emperature_district_heating_system_with_booster_heat_pumps_for_new_and_existing_reside ntial_buildings)
- [56] Mattias Gustafsson, Mats Rönnelid, Louise Trygg, Björn Karlsson, CO2 emission evaluation of energy conserving measures in buildings connected to a district heating system – Case study of a multi-dwelling building in Sweden, *Energy*, Volume 111, 15 September 2016, Pages 341-350, ISSN 0360-5442, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.002>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544216305527>
- [57] Alessandro Dalla Rosa - The Development of a new District Heating Concept. Network Design and Optimization for Integrating Energy Conservation and Renewable Energy Use. PhD Thesis, Technical University of Denmark, 2012  
[http://www.byg.dtu.dk/-/media/Institutter/Byg/publikationer/PhD/byg\\_r269.ashx?la=da](http://www.byg.dtu.dk/-/media/Institutter/Byg/publikationer/PhD/byg_r269.ashx?la=da)  
[http://orbit.dtu.dk/files/51481483/Alessandro\\_Dalla\\_Rosa\\_PhD\\_Thesis.pdf](http://orbit.dtu.dk/files/51481483/Alessandro_Dalla_Rosa_PhD_Thesis.pdf)
- [58] Marek Brand - Heating and Domestic Hot Water Systems in Buildings Supplied by Low-Temperature District Heating, PhD Thesis, Technical University of Denmark, 2013, ISSN 1601 – 2917  
[www.byg.dtu.dk/-/media/Institutter/Byg/publikationer/PhD/byg-r296.ashx?la=da](http://www.byg.dtu.dk/-/media/Institutter/Byg/publikationer/PhD/byg-r296.ashx?la=da)
- [59] Patrik Abrahamsson - Efficient district heating in low-energy building areas, Master's Thesis in Chemical Engineering, Åbo Akademi University, 2014

- [60] Hakan Ibrahim Tol, Svend Svendsen, A comparative study on substation types and network layouts in connection with low-energy district heating systems, *Energy Conversion and Management*, Volume 64, December 2012, Pages 551-561, ISSN 0196-8904, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2012.04.022>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890412002622>
- [61] H.I. Tol, S. Svendsen, Improving the dimensioning of piping networks and network layouts in low-energy district heating systems connected to low-energy buildings: A case study in Roskilde, Denmark, *Energy*, Volume 38, Issue 1, February 2012, Pages 276-290, ISSN 0360-5442, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2011.12.002>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544211007961>
- [62] Hakan Ibrahim Tol, Svend Svendsen (Technical University of Denmark) - Determination of optimum network layout for low-energy district heating systems with different substation types Conference paper, The third renewable energy congress, At Hammamet, Tunisia, Volume: 3rd, 2011 <http://www.researchgate.net/publication/275890020>
- [63] Hakan Ibrahim Tol, Svend Svendsen, Susanne Balslev Nielsen (Technical University of Denmark) - Case Studies in Low-Energy District Heating Systems: Determination of Dimensioning Methods for Planning the Future Heating Infrastructure. Paper presented at IFME World Congress of Municipal Engineering, Helsinki, Finland, 2012 [http://orbit.dtu.dk/files/51694934/Conference\\_Paper\\_Published.pdf](http://orbit.dtu.dk/files/51694934/Conference_Paper_Published.pdf)
- [64] Hongwei Li, Svend Svendsen, Energy and exergy analysis of low temperature district heating network, *Energy*, Volume 45, Issue 1, September 2012, Pages 237-246, ISSN 0360-5442, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.03.056>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544212002599>
- [65] Maunu Kuosa, Kaisa Kontu, Tapio Mäkilä, Markku Lampinen, Risto Lahdelma, Static study of traditional and ring networks and the use of mass flow control in district heating applications, *Applied Thermal Engineering*, Volume 54, Issue 2, 30 May 2013, Pages 450-459, ISSN 1359-4311, <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.02.018>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431113001233>
- [66] Tol, Hakan and Svend Svendsen - Operational Planning of Low-Energy District Heating Systems Connected to Existing Buildings, *Proceedings of the 2nd International Conference on Renewable Energy: Generation and Applications*. 2012  
[http://orbit.dtu.dk/files/8167788/Operational\\_Planning\\_of\\_Low\\_Energy\\_District\\_Heating\\_Systems\\_Connected\\_to\\_Existing\\_Buildings\\_Published.pdf](http://orbit.dtu.dk/files/8167788/Operational_Planning_of_Low_Energy_District_Heating_Systems_Connected_to_Existing_Buildings_Published.pdf)
- [67] Arefeh Hesarakı, Eleftherios Bourdakı, Adnan Ploskić, Sture Holmberg, Experimental study of energy performance in low-temperature hydronic heating systems, *Energy and Buildings*, Volume 109, 15 December 2015, Pages 108-114, ISSN 0378-7788, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.064>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815303042>
- [68] Hao Fang, Jianjun Xia, Kan Zhu, Yingbo Su, Yi Jiang, Industrial waste heat utilization for low temperature district heating, *Energy Policy*, Volume 62, November 2013, Pages 236-246, ISSN 0301-4215, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.104>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513006113>
- [69] Torben Ommen, Wiebke Brix Markussen, Brian Elmegaard, Lowering district heating temperatures – Impact to system performance in current and future Danish energy scenarios, *Energy*, Volume 94, 1 January 2016, Pages 273-291, ISSN 0360-5442, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.10.063>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544215014310>
- [70] Xiaochen Yang, Hongwei Li, Svend Svendsen, Modelling and multi-scenario analysis for electric heat tracing system combined with low temperature district heating for domestic hot water supply, *Building Simulation* 2016, Volume 9, Issue 2, pp. 141–151  
<http://dx.doi.org/10.1007/s12273-015-0261-4>  
<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12273-015-0261-4>

- [71] Xiaochen Yang, Hongwei Li, Jette M. Fog and Svend Svendsen (Technical University of Denmark) – Analysis and research on promising solutions of low temperature district heating without risk of Legionella, Proceedings from the 14<sup>th</sup> International Symposium on District Heating and Cooling, 2014, Stockholm, Sweden, ISBN 978-91-85775-24-8, pp. 41-48 <http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Konferenser/DHC14/Proceedings%20DHC14.pdf>
- [72] Xiaochen Yang, Hongwei Li, Svend Svendsen, Evaluations of different domestic hot water preparing methods with ultra-low-temperature district heating, Energy, Volume 109, 15 August 2016, Pages 248-259, ISSN 0360-5442, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.04.109> <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544216305291>
- [73] Xiaochen Yang, Hongwei Li, Svend Svendsen, Decentralized substations for low-temperature district heating with no Legionella risk, and low return temperatures, Energy, Available online 14 January 2016, ISSN 0360-5442, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.073> <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544215017181>
- [74] Xiaochen Yang, Hongwei Li, Svend Svendsen, Energy, economy and exergy evaluations of the solutions for supplying domestic hot water from low-temperature district heating in Denmark, Energy Conversion and Management, Volume 122, 15 August 2016, Pages 142-152, ISSN 0196-8904, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.05.057> <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890416304356>
- [75] Marek Brand, Jan Eric Thorsen, Svend Svendsen, Numerical modelling and experimental measurements for a low-temperature district heating substation for instantaneous preparation of DHW with respect to service pipes, Energy, Volume 41, Issue 1, May 2012, Pages 392-400, ISSN 0360-5442, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.02.061> <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544212001752>
- [76] Xiaochen Yang - Supply of domestic hot Water at comfortable temperatures by low-temperature district heating without risk of Legionella. PhD Thesis, Technical University of Denmark, 2016 [www.byg.dtu.dk/-/media/Institutter/Byg/publikationer/PhD/Byg\\_R346.ashx?la=da](http://www.byg.dtu.dk/-/media/Institutter/Byg/publikationer/PhD/Byg_R346.ashx?la=da) [http://orbit.dtu.dk/files/124322591/Xiaochen\\_Yang\\_Til\\_Orbit.pdf](http://orbit.dtu.dk/files/124322591/Xiaochen_Yang_Til_Orbit.pdf)
- [77] Patricia Monzó, Alberto Lazzarotto, José Acuña, Johan Tjernström and Mikael Nygren, Monitoring of a borehole thermal energy storage in Sweden, Heiselberg, P. K. (Ed.) (2016). CLIMA 2016 - proceedings of the 12th REHVA World Congress: volume 3. Aalborg: Aalborg University, Department of Civil Engineering [https://www.kth.se/polopoly\\_fs/1.652451!/Monitoring%20of%20a%20borehole%20theraml%20%20energy%20storage%20in%20%20Sweden.pdf](https://www.kth.se/polopoly_fs/1.652451!/Monitoring%20of%20a%20borehole%20theraml%20%20energy%20storage%20in%20%20Sweden.pdf)
- [78] A. Réveillère, V. Hamm, H. Lesueur, E. Cordier, P. Goblet, Geothermal contribution to the energy mix of a heating network when using Aquifer Thermal Energy Storage: Modeling and application to the Paris basin, Geothermics, Volume 47, July 2013, Pages 69-79, ISSN 0375-6505, <http://dx.doi.org/10.1016/j.geothermics.2013.02.005> <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375650513000163>
- [79] J.NW. Chiu, J. Castro Flores, V. Martin, B. Lacarrière, Industrial surplus heat transportation for use in district heating, Energy, Available online 24 May 2016, ISSN 0360-5442, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.003> <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544216305539>
- [80] B. Saeb Gilani, B. Giorgi, M. Bachmann, M. Kriegel: Potential analysis of heat sharing at different temperature levels in a district. CLIMA 2016 - 12th REHVA World Congress, Aalborg, Denmark, 22.-25.05.2016. Conference Proceedings, CLIMA 2016 - proceedings of the 12th REHVA World Congress: volume 3, Aalborg University, Department of Civil Engineering. ISBN: 87-91606-28-4 (vol 3), 87-91606-36-5 <http://megaslides.com/doc/6051127/aalborg-universitet-heiselberg--per-kvols>
- [81] EnEff:Wärme – LowExTra, Low-exergy transmission pipes for storing and distributing heat <http://www.eneff-stadt.info/en/heatingcooling-networks/project/details/lowextra-low-exergy-transmission-pipes-for-storing-and-distributing-heat/>

- [82] IÖW, LowExTra – Low-Exergy-Grids for Storing and Distributing Heat at Different Temperature Levels <https://www.ioew.de/en/project-single/lowextra-low-exergy-grids-for-storing-and-distributing-heat-at-different-temperature-levels/>
- [83] Daniel Rohde, Trond Andresen and Natasa Nord: Interaction between a building complex with an integrated thermal energy system and a district heating system, Heiselberg, P. K. (Ed.) (2016).CLIMA 2016 - 12th REHVA World Congress, Aalborg, Denmark, 22.-25.05.2016. Conference Proceedings, CLIMA 2016 - proceedings of the 12th REHVA World Congress: volume 3, Aalborg University, Department of Civil Engineering. ISBN: 87-91606-28-4 (vol 3) [https://www.researchgate.net/publication/306379584\\_Interaction\\_Between\\_a\\_Building\\_Complex\\_with\\_an\\_Integrated\\_Thermal\\_Energy\\_System\\_and\\_a\\_District\\_Heating\\_System](https://www.researchgate.net/publication/306379584_Interaction_Between_a_Building_Complex_with_an_Integrated_Thermal_Energy_System_and_a_District_Heating_System)
- [84] Fabio Zanghirella, Jonata Canonaco, Giovanni Puglisi and Biagio Di Pietra: Introducing distributed solar thermal heat in a small-scale district heating system, Heiselberg, P. K. (Ed.) (2016).CLIMA 2016 - 12th REHVA World Congress, Aalborg, Denmark, 22.-25.05.2016. Conference Proceedings, CLIMA 2016 - proceedings of the 12th REHVA World Congress: volume 3, Aalborg University, Department of Civil Engineering. ISBN: 87-91606-28-4 (vol 3) [https://www.researchgate.net/publication/303549897\\_Introducing\\_distributed\\_solar\\_thermal\\_power\\_in\\_small-scale\\_district\\_heating\\_systems](https://www.researchgate.net/publication/303549897_Introducing_distributed_solar_thermal_power_in_small-scale_district_heating_systems)
- [85] Petr Ovchinnikov, Anatolijs Borodinecs, Renārs Millers, Utilization potential of low temperature hydronic space heating systems in Russia, Journal of Building Engineering, Volume 13, 2017, Pages 1-10, ISSN 2352-7102, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.07.003> (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235271021730219X>)
- [86] Jelena Ziemele, Armands Gravelsins, Andra Blumberga, Dagnija Blumberga, Sustainability of heat energy tariff in district heating system: Statistic and dynamic methodologies, Energy, Volume 137, 2017, Pages 834-845, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.130> (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217306965>)
- [87] Anna Volkova, Vladislav Mašatin, Andres Siirde, Methodology for evaluating the transition process dynamics towards 4th generation district heating networks, Energy, Volume 150, 2018, Pages 253-261, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.123> (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544218303578>)
- [88] Muhammad Imran, Muhammad Usman, Yong Hoon Im, Byung Sik Park, The feasibility analysis for the concept of low temperature district heating network with cascade utilization of heat between networks, Energy Procedia, Volume 116, 2017, Pages 4-12, ISSN 1876-6102, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.050> (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217322579>)
- [89] Markus Köfinger, Daniele Basciotti, Ralf-Roman Schmidt, Reduction of return temperatures in urban district heating systems by the implementation of energy-cascades, Energy Procedia, Volume 116, 2017, Pages 438-451, ISSN 1876-6102, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.091> (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217322981>)
- [90] Ministerul Energiei - Strategia Energetică a României 2016-2030, cu perspectiva anului 2050, 19 decembrie 2016, pp. 30-32 [http://mmediu.ro/app/webroot/uploads/files/2017-03-02\\_Strategia-Energetica-a-Romaniei-2016-2030.pdf](http://mmediu.ro/app/webroot/uploads/files/2017-03-02_Strategia-Energetica-a-Romaniei-2016-2030.pdf)
- [91] Strategia pentru mobilizarea investițiilor în renovarea fondul de clădiri rezidențiale și comerciale, atât publice cât și private, existente la nivel național, p.3 [www.mdrap.ro/.../Strategie\\_renovare\\_cladiri\\_2017%20final\\_23octombrie2017.pdf](http://www.mdrap.ro/.../Strategie_renovare_cladiri_2017%20final_23octombrie2017.pdf)
- [92] Programul Operațional Regional 2014-2020 (și anexele aferente) - versiunea aprobată 18 martie 2016, pp.116-117 <http://www.fonduri-ue.ro/por-2014>

- [93] Mircea Bediman, Maria Crăciun: Reglarea furnizării căldurii în sistemele de termoficare urbană, în: Instalații de încălzire și rețele termice. Ed. didactică și pedagogică București, 1985 – pp. 333-356
- [94] Prof. univ. dr. Mircea Beldiman: Reglarea furnizării căldurii, în: Enciclopedia tehnică de instalații - Manualul de instalații Ediția a II-a, Instalații de încălzire. Ed. Artecno București, 2010 – pp. 556-560
- [95] Florin Iordache: Energetica echipamentelor și sistemelor termice din instalații, Ed. CONSPRESS, București, 2010, pp.117-124
- [96] Florin Iordache, Energetica echipamentelor și sistemelor termice din instalații, Ed. CONSPRESS, București, 2010, pp.65-69
- [97] Florin Iordache – Instalații de încălzire centrală. Reglajul termic calitativ centralizat – Revista Română de Inginerie Civilă, volumul 8 (2017) nr.1 – ISSN 2068-3987 – ed. Matrixrom 2017, București, pp. 18-30
- [98] Tomasz Cholewa, Alicja Siuta-Olcha, Long term experimental evaluation of the influence of heat cost allocators on energy consumption in a multifamily building, Energy and Buildings, Volume 104, 1 October 2015, Pages 122-130, ISSN 0378-7788, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.083>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815300967>
- [99] Florin Iordache, Bogdan Caracaleanu, Vlad Iordache: Modernizarea instalațiilor de încălzire centrală. Aspecte energetice - iarna 2003/2004, în: Expertizarea și reabilitarea sistemelor de alimentare cu căldură și instalațiilor interioare de încălzire centrală, Editura CONSPRESS, București, 2006, pp.64-71
- [100] Florin Iordache, Cristina Stănișteanu, Clădiri reabilite termic – consecințe energetice, Revista Română de Inginerie Civilă, volumul 9 (2018) nr.1 - editura MATRIXROM, București
- [101] Florin Iordache, Cristina Stănișteanu, Clădiri reabilite termic – consecințe energetice, în - Florin Iordache Coordonator – Echipamente și sisteme termice. Metode de evaluare energetică și funcțională (culegere de articole) - ISBN:978-606-25-0325-3 – Editura MATRIXROM, București, 2017, pp. 29-37
- [102] Florin Iordache, Mihai Ionescu, Virgil Păun, Randamentul unui sistem districtual de încălzire centrală, în – Florin Iordache Coordonator – Aspecte termoeconomice în domeniul clădirilor și sistemelor de alimentare cu căldură al acestora (culegere de articole), Editura MATRIXROM, București, 2015, pag.187-194
- [103] Adrian Marin, Cristina Stănișteanu, Florin Iordache, Rețele termice de distribuție. Aspecte energetice, Revista Română de Inginerie Civilă, volumul 9 (2018) nr.2 – Editura MATRIXROM, București
- [104] Florin Iordache, Energetica echipamentelor și sistemelor termice din instalații – ISBN 987-973-100-115-9, Editura CONSPRESS, București, 2010, pag. 203-210
- [105] Florin Iordache, Energetica echipamentelor și sistemelor termice din instalații – ISBN 987-973-100-115-9, Editura CONSPRESS – ISBN 978-606-25-0325-3, București, 2010 pag. 197-202
- [106] Florin Iordache, Identificarea hidro-termică a rețelelor termice, în: Florin Iordache Coordonator – Echipamente și sisteme termice. Metode de evaluare energetică și funcțională (culegere de articole) - ISBN 978-606-25-0325-3, Editura MATRIXROM, București, 2017, pp.38-44
- [107] Cristina Stănișteanu, Florin Iordache, Alimentarea centralizată cu energie termică de joasă temperatură. Justificare energetică și economică – Revista Română de Inginerie Civilă – Editura MATRIXROM, București, 2020 (în curs de apariție)
- [108] Florin Iordache, Aspecte termo-energetice în domeniul clădirilor și sistemelor de alimentare cu căldură al acestora (culegere de articole), ISBN 978-606-25-0145-7, Editura MATRIXROM, București, 2015
- [109] Florin Iordache, Comportamentul dinamic al echipamentelor și sistemelor termice (ediția 3-a), ISBN 978-973-755-423-9, Editura MATRIXROM, București, 2008