

**MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI
ȘCOALA DOCTORALĂ**

RAPORT DE CERCETARE 3

**Soluții de eficientizare energetică a SACET din punct de vedere
constructiv și funcțional. Aspecte economice și energetice**

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

Student doctorand
Ing. SECARĂ (STĂNIȘTEANU) CRISTINA ALICE

Septembrie 2017

Cuprins

1. Introducere	3
2. Economii energetice obținute prin reabilitarea termică a anvelopei clădirilor în funcție de gradul de izolare termică	5
3. Economii energetice datorate reducerii temperaturii agentului termic în rețelele de distribuție	14
4. Scheme de racordare care permit alimentarea clădirilor reabilite termic cu agent termic de temperatură redusă	19
a. Scenariul (a): Unul sau mai multe puncte termice din sistemul centralizat alimentează exclusiv clădiri cu eficiență energetică ridicată	20
b. Scenariul (b): Toți consumatorii alimentați dintr-o ramură a unui punct termic sunt clădiri cu eficiență energetică ridicată	42
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	49
5. Concluzii	53
6. Simboluri și abrevieri	54
7. Referințe	56

1. Introducere

Odată cu apariția noii Directive privind eficiența energetică a clădirilor (2010), Guvernul României a modificat prevederile Programului Operațional Regional, astfel încât o parte din fondurile alocate prin acest program au fost direcționate pentru reabilitarea energetică a clădirilor. Autoritățile locale din România au reacționat, astfel încât până în prezent au fost reabilite mii de blocuri din zeci de orașe, iar programele de reabilitare a clădirilor de locuit continuă în același ritm, fiind finanțate în continuare prin Programul Operațional Regional, Axa prioritară 4 (Sprijinirea dezvoltării urbane). 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 consecință, investițiile făcute în scopul creșterii eficienței energetice la consumator nu se justifică, întrucât eficiența energetică a sistemelor de producere și distribuție a căldurii scade. Cererea de energie termică din zonele cu clădiri cu performanță energetică ridicată va fi scăzută, iar funcționarea sistemelor centralizate de încălzire la parametri actuali ar putea conduce la situația în care acestea nu vor mai fi viabile din punct de vedere economic și vor fi închise. În mod evident există o necesitate obiectivă de reducere a pierderilor de căldură din sistem și acest lucru se poate realiza prin alimentarea consumatorilor cu agent termic de temperatură mai joasă.

Eficiența sistemelor centralizate de alimentare cu energie termică din țara noastră este scăzută. Conform Strategiei Energetice a României pentru perioada 2016-2030, se apreciază că pierderile energetice totale între surse și consumatori sunt de circa 30% din energia termică produsă. În același timp, resursele financiare alocate pentru reabilitarea acestor sisteme au fost destul de reduse. Conform aceleiași surse, doar 20% din rețeaua de transport și 30% din cea de distribuție au fost modernizate. [1] Lipsa investițiilor, asociată cu cheltuielile reduse pentru mentenanță, au condus la o uzură fizică avansată a conductelor, a căror durată de viață este de multe ori depășită, sistemele funcționând cu eficiențe scăzute, cu costuri ridicate de exploatare.

Funcționarea sistemelor centralizate de alimentare cu energie termică cu agent termic de temperatură scăzută asigură o creștere a eficienței acestora, fără să necesite un efort investițional din partea autorităților locale.

Cu toate că reabilitarea termică a clădirilor a avut drept scop reducerea necesarului de căldură al clădirilor, aceasta nu a vizat suprafețele corpurilor de încălzire. Clădirile cu eficiență energetică ridicată sunt alimentate cu agent termic pentru încălzire prin rețele de distribuție comune cu cele nereabilite termic, la un nivel de temperatură corespunzător graficului de reglare aferent acestora din urmă. În cazul în care la nivelul corpurilor de încălzire din clădirile a căror anvelopă a fost reabilitată nu au fost montate robinete termostactice, acest lucru conduce la creșterea temperaturii interioare în încăperile din aceste clădiri.

Pentru atingerea unei eficiențe energetice maxime la nivelul sistemului centralizat de încălzire, sunt necesare următoarele măsuri:

- reabilitarea termică a clădirilor
- alimentarea clădirilor reabilite termic cu agent termic având temperatura în conformitate cu graficul de reglare determinat special pentru acestea
- dotarea corpurilor de încălzire cu robinete termostactice
- contorizarea instalațiilor termice de încălzire și preparare a apei calde de consum
- izolarea conductelor de distribuție din subsolul tehnic al clădirilor
- dotarea coloanelor de distribuție a agentului termic cu robinete de separare și cu robinete de golire
- spălarea instalației de încălzire centrală

2. Economii energetice obținute prin reabilitarea termică a anvelopei clădirilor în funcție de gradul de izolare termică

În prezenta lucrare ne propunem să evaluăm 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. Dotarea corpurilor de încălzire cu robinete termostactice și cu repartitoare de costuri este o măsură de reducere a consumului de căldură care poate fi aplicată independent de celelalte două măsuri, a cărei eficiență este imposibil de determinat prin calcul, datorită caracterului ei subiectiv (este imposibil de anticipat comportamentul persoanelor care locuiesc în clădire), dar care a fost stabilită prin numeroase studii experimentale, inclusiv în România. Un studiu amplu realizat în Polonia pe o perioadă de 17 ani (1997-2014) a stabilit că montarea repartitoarelor de costuri în clădiri a condus la reducerea necesarului de căldură, în medie, cu 26,6%. Reabilitarea termică a clădirilor a condus la reducerea consumului de energie termică cu 20,3% în cazul clădirilor în care nu sunt montate repartitoare de costuri, și cu 27,2% în cazul clădirilor unde instalația de încălzire este dotată cu repartitoare de costuri. [2] În România, un studiu realizat în anii 2003-2004 asupra unui număr de 65 de blocuri, dintre care 32 aveau instalația interioară de încălzire modernizată prin echiparea corpurilor cu robinete termostactice și repartitoare de costuri, a arătat că reducerea consumurilor de căldură la nivelul acestor blocuri, comparativ cu celelalte clădiri, era de 25%. [3]

În vederea evaluării consumurilor energetice, se vor folosi relațiile generalizate de reglaj termic calitativ: [4]

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

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

unde :

$$E_0 = \exp(-NTU_0) = \exp\left(-\frac{k_0 \cdot S}{G_0 \cdot \rho \cdot c}\right) = \frac{t_{r0} - t_{i0}}{t_{i0} - t_{e0}} \quad (3)$$

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

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

$$\Delta t_{m/0} = \frac{t_t - t_r}{\ln \frac{t_t - t_{i0}}{t_r - t_{i0}}} \quad (6)$$

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.

Ipoteze de calcul:

1. Pentru evaluarea consumului energetic anual s-a considerat cazul unei clădiri caracterizate de o putere termică nominală pentru încălzire de 1 MW, situate în zona climatică 2. [5]
2. Temperatura interioară convențională de calcul a fost considerată +20°C, determinată ca temperatura predominantă între temperaturile interioare convenționale de calcul din încăperile clădirilor de locuit, conform SR 1907/2-2014.
3. Pentru evaluarea consumurilor anuale de energie termică pentru încălzirea clădirii s-au considerat valorile medii zilnice ale temperaturii exterioare din perioada 1997-2007, date furnizate de Administrația Națională de Meteorologie.

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: $t_{T0}/t_{R0} = 150/80^\circ\text{C}$, $t_{i0}/t_{r0} = 90/70^\circ\text{C}$.

În Tabelul 1 sunt prezentate consumurile energetice orare și anuale pentru clădirea nereabilitată (situația $H/H_0=1$):

Tabelul 1 Consumurile energetice orare și anuale pentru clădirea nereabilitată

Putere P0 = 1 MW		Circuit secundar (rețele distribuție)					
		H/H0 = 1 (Anvelopa nereabilitată + Gf. reglaj necorectat)					
Nr. zile	te (°C)	t _{tB} (°C)	tr _B (°C)	ti _B (°C)	RPTS	P (MW)	Q (MWh)
2	-15	90,0	70,0	20	1,00	1,00	48
11	-10	81,8	64,7	20	0,857	0,857	226
32	-5	73,4	59,1	20	0,714	0,714	549
60	0	64,6	53,2	20	0,571	0,571	823
53	5	55,5	46,9	20	0,429	0,429	545
24	10	45,7	39,9	20	0,286	0,286	165
	15	34,8	31,9	20	0,143	0,143	0
	20	20	20	20	0,00	0,00	0
							2356

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 ($H/H_0=0,8$; $H/H_0=0,6$; $H/H_0=0,4$).

În Tabelul 2 sunt prezentate temperaturile interioare rezultate ca urmare a alimentării clădirii cu agent termic având temperatura corespunzătoare clădirilor nereabilitate, precum și temperatura agentului termic pe conducta de retur. De asemenea, în tabel sunt prezentate consumurile energetice orare și anuale pentru clădirea reabilitată (s-a considerat $H/H_0=0,8$), alimentată cu agent termic la aceiași parametri ca și clădirile nereabilitate termic.

Tabelul 2 Consumurile energetice orare și anuale pentru clădirea reabilitată (cazul $H/H_0=0,8$; grafic de reglaj necorectat)

Putere P0 = 1 MW		Circuit secundar (rețele distribuție)					
		H/H0 = 0,8 (Anvelopa reabilitată + Gf. reglaj necorectat)					
Nr. zile	te (°C)	t _t (°C)	tr (°C)	ti (°C)	RPTS	P (MW)	Q (MWh)
2	-15	90,0	71,7	24,9	0,913	0,91	44
11	-10	81,8	66,2	24,3	0,784	0,78	207
32	-5	73,4	60,3	23,6	0,654	0,65	503
60	0	64,6	54,2	23,0	0,525	0,52	755
53	5	55,5	47,6	22,3	0,395	0,39	502
24	10	45,7	40,4	21,6	0,264	0,26	152
	15	34,8	32,1	20,8	0,133	0,13	0
	20	20	20	20,0	0,00	0,00	0
							2163

În Tabelul 3 sunt prezentate temperaturile interioare rezultate ca urmare a alimentării clădirii cu agent termic având temperatura corespunzătoare clădirilor nereabilitate, precum și temperatura agentului termic pe conducta de retur. De asemenea, în tabel sunt prezentate consumurile energetice orare și anuale pentru încălzirea reabilitată (s-a considerat $H/H_0=0,6$), alimentată cu agent termic la aceiași parametri ca și clădirile nereabilitate termic.

Tabelul 3 Consumurile energetice orare și anuale pentru încălzirea reabilitată (cazul $H/H_0=0,6$; grafic de reglaj necorectat)

Putere $P_0 = 1$ MW		Circuit secundar (rețele distribuție)					
		$H/H_0 = 0,6$ (Anvelopa reabilitată + Gf. reglaj necorectat)					
Nr. zile	t_e (°C)	t_t (°C)	t_r (°C)	t_i (°C)	RPTS	P (MW)	Q (MWh)
2	-15	90,0	74,0	31,6	0,799	0,80	38
11	-10	81,8	68,1	30,1	0,687	0,69	181
32	-5	73,4	61,9	28,5	0,575	0,57	442
60	0	64,6	55,4	27,0	0,462	0,46	666
53	5	55,5	48,5	25,4	0,349	0,35	444
24	10	45,7	41,0	23,7	0,235	0,23	135
	15	34,8	32,4	22,0	0,119	0,12	0
	20	20	20	20,0	0,00	0,00	0
							1906

În Tabelul 4 sunt prezentate temperaturile interioare rezultate ca urmare a alimentării clădirii cu agent termic având temperatura corespunzătoare clădirilor nereabilitate, precum și temperatura agentului termic pe conducta de retur. De asemenea, în tabel sunt prezentate consumurile energetice orare și anuale pentru încălzirea reabilitată (s-a considerat $H/H_0=0,4$), alimentată cu agent termic la aceiași parametri ca și clădirile nereabilitate termic.

Tabelul 4 Consumurile energetice orare și anuale pentru încălzirea reabilitată (cazul $H/H_0=0,4$; grafic de reglaj necorectat)

Putere $P_0 = 1$ MW		Circuit secundar (rețele distribuție)					
		$H/H_0 = 0,4$ (Anvelopa reabilitată + Gf. reglaj necorectat)					
Nr. zile	t_e (°C)	t_t (°C)	t_r (°C)	t_i (°C)	RPTS	P (MW)	Q (MWh)
2	-15	90,0	77,2	41,1	0,641	0,64	31
11	-10	81,8	70,8	38,4	0,553	0,55	146
32	-5	73,4	64,1	35,6	0,464	0,46	356
60	0	64,6	57,1	32,8	0,375	0,37	540
53	5	55,5	49,8	29,9	0,284	0,28	362
24	10	45,7	41,8	26,9	0,193	0,19	111
	15	34,8	32,8	23,7	0,099	0,10	0
	20	20	20	20,0	0,00	0,00	0
							1546

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 Tabelul 5 sunt prezentate temperaturile corespunzătoare graficului de reglaj corectat conform gradului de reabilitare a clădirii. De asemenea, în tabel sunt prezentate consumurile energetice orare și anuale pentru încălzirea reabilitată (s-a considerat cazul $H/H_0=0,8$).

Tabelul 5 Consumurile energetice orare și anuale pentru încălzirea reabilitată (cazul $H/H_0=0,8$; grafic de reglaj corectat)

Putere $P_0 = 1$ MW		Circuit secundar (rețele distribuție)					
		$H/H_0 = 0,8$ (Anvelopa reabilitată + Gf. reglaj corectat)					
Nr. zile	t_e ($^{\circ}\text{C}$)	t_{iB} ($^{\circ}\text{C}$)	t_{rB} ($^{\circ}\text{C}$)	t_{iB} ($^{\circ}\text{C}$)	RPTS	P (MW)	Q (MWh)
2	-15	78,5	62,5	20	0,80	0,80	38
11	-10	71,7	58,0	20	0,686	0,686	181
32	-5	64,6	53,2	20	0,571	0,571	439
60	0	57,3	48,2	20	0,457	0,457	658
53	5	49,7	42,8	20	0,343	0,343	436
24	10	41,5	36,9	20	0,229	0,229	132
	15	32,4	30,1	20	0,114	0,114	0
	20	20	20	20	0,00	0,00	0
							1884

În Tabelul 6 sunt prezentate temperaturile corespunzătoare graficului de reglaj corectat conform gradului de reabilitare a clădirii. De asemenea, în tabel sunt prezentate consumurile energetice orare și anuale pentru încălzirea reabilitată (s-a considerat cazul $H/H_0=0,6$).

Tabelul 6 Consumurile energetice orare și anuale pentru clădirea reabilitată (cazul $H/H_0=0,6$; grafic de reglaj corectat)

Putere $P_0 = 1$ MW		Circuit secundar (rețele distribuție)					
		$H/H_0 = 0,6$ (Anvelopa reabilitată + Gf. reglaj corectat)					
Nr. zile	t_e (°C)	t_{tB} (°C)	t_{rB} (°C)	t_{iB} (°C)	RPTS	P (MW)	Q (MWh)
2	-15	66,4	54,4	20	0,60	0,60	29
11	-10	61,0	50,7	20	0,514	0,514	136
32	-5	55,5	46,9	20	0,429	0,429	329
60	0	49,7	42,8	20	0,343	0,343	494
53	5	43,6	38,4	20	0,257	0,257	327
24	10	37,1	33,7	20	0,171	0,171	99
	15	29,9	28,2	20	0,086	0,086	0
	20	20	20	20	0,00	0,00	0
							1413

În Tabelul 7 sunt prezentate temperaturile corespunzătoare graficului de reglaj corectat conform gradului de reabilitare a clădirii. De asemenea, în tabel sunt prezentate consumurile energetice orare și anuale pentru încălzirea reabilitată (s-a considerat cazul $H/H_0=0,6$).

Tabelul 7 Consumurile energetice orare și anuale pentru clădirea reabilitată (cazul $H/H_0=0,4$; grafic de reglaj corectat)

Putere $P_0 = 1$ MW		Circuit secundar (rețele distribuție)					
		$H/H_0 = 0,4$ (Anvelopa reabilitată + Gf. reglaj corectat)					
Nr. zile	t_e (°C)	t_{tB} (°C)	t_{rB} (°C)	t_{iB} (°C)	RPTS	P (MW)	Q (MWh)
2	-15	53,6	45,6	20	0,40	0,40	19
11	-10	49,7	42,8	20	0,343	0,343	91
32	-5	45,7	39,9	20	0,286	0,286	219
60	0	41,5	36,9	20	0,229	0,229	329
53	5	37,1	33,7	20	0,171	0,171	218
24	10	32,4	30,1	20	0,114	0,114	66
	15	27,2	26,0	20	0,057	0,057	0
	20	20	20	20	0,00	0,00	0
							942

În Figura 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.

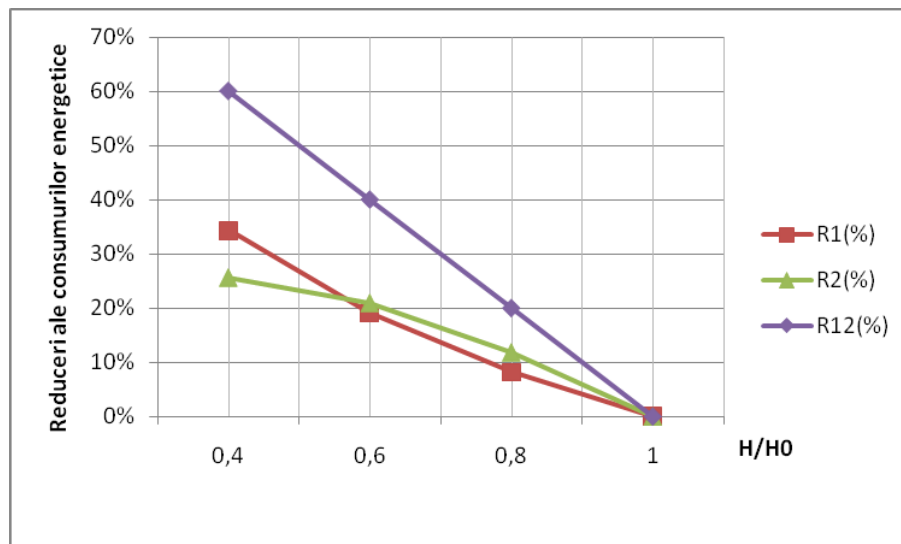


Figura 1 Reducerea consumului energetic al clădirii datorat reabilitării termice și utilizării unui agent termic de temperatură corespunzătoare gradului de reabilitare termică

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 de mai sus 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.

Exemplu

Considerăm cazul unei clădiri uzuale din România, supusă reabilitării termice. Analizăm un bloc cu parter înalt (spații comerciale) și 10 etaje, cu 3 scări. Calculăm coeficientul complex de cuplaj termic prin anvelopa clădirii în situația inițială (bloc nereabilitat termic) și în 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.

$$H = G \cdot V = \frac{S}{R_m} + 0,34 \cdot n_a \cdot V \quad (7)$$

unde:

H = coeficientul complex de cuplaj termic prin anvelopa clădirii (W/K)

G = coeficientul global de izolare termică al clădirii (W/m³·K)

V = volumul clădirii (m³)

S = suprafața anvelopei termice (m²)

R_m = rezistența termică medie a anvelopei clădirii (m²·K/W)

n_a = numărul mediu de schimburi de aer pe oră (h⁻¹)

Lungimea clădirii 75 m

Lățimea clădirii 15 m

Înălțimea clădirii 32 m

S = 5760 m²

V = 36000 m³

Anvelopa clădirii este formată dintr-o parte opacă și o parte vitrată. Considerăm că partea opacă (S_1) reprezintă 85% din suprafață, iar partea vitrată (S_2) 15%.

S_1 (opacă) 85% 4896 m²

S_2 (vitrată) 15% 864 m²

Considerăm mai întâi cazul clădirii inițiale, înainte de reabilitarea termică.

Rezistența termică a părții opace a anvelopei clădirii este:

R_1 = 0,65 m²·K/W

Rezistența termică a părții vitrate a anvelopei clădirii este:

R_2 = 0,35 m²·K/W

Rezistența termică medie a anvelopei clădirii este:

$$R_m = \frac{\frac{S_1 + S_2}{\frac{S_1}{R_1} + \frac{S_2}{R_2}}}{\quad} \quad (8)$$

R_m = 0,58 m²·K/W

Considerăm numărul mediu orar de schimburi de aer:

n_a = 1,20 h⁻¹

Calculăm coeficientul complex de cuplaj termic prin anvelopa clădirii pentru clădirea nereabilitată utilizând relația (7), și rezultă:

H_0 = 24.689 W/K

Considerăm cazul clădirii reabilitate termic prin aplicarea pe părțile opace ale anvelopei a 10 cm de polistiren ($\lambda_{iz}=0,044 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) și înlocuirea integrală a ferestrelor cu tâmplărie de lemn cu ferestre etanșe cu geam termoizolant.

Rezistența termică a părții opace a anvelopei clădirii este:

$$R_1 = 2,92 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$$

Rezistența termică a părții vitrate a anvelopei clădirii este:

$$R_2 = 0,55 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$$

Rezistența termică medie a anvelopei clădirii (relația (8)) este:

$$R_m = 1,77 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$$

Considerăm numărul mediu orar de schimburi de aer:

$$n_a = 0,50 \text{ h}^{-1}$$

Calculăm coeficientul complex de cuplaj termic prin anvelopa clădirii pentru clădirea nereabilitată utilizând relația (7), și rezultă:

$$H = 9.368 \text{ W/K}$$

Rezultă că pentru cazul tipic de reabilitare a clădirilor colective din România, avem $H/H_0=0,4$. În urma analizei făcute, rezultă o reducere a consumului de energie datorată reabilitării termice a clădirii de 35%. Dacă această măsură ar fi completată cu adaptarea temperaturii agentului termic la noul necesar de cădura al clădirii, s-a putea reduce consumul de energie cu încă 25% față de consumul energetic inițial (anterior reabilitării termice), rezultând o reducere totală de 60%, deci consumul energetic aferent încălzirii unei astfel de clădiri s-a reduce la numai 40% față de cel inițial.

3. 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. În anii 2000-2003 s-a derulat programul START P7L2, finanțat de Banca Europeană de Investiții, al cărui beneficiar a fost RADET, operatorul sistemului centralizat de încălzire din București. Acest proiect-pilot a avut ca scop monitorizarea în timp real a întregului sistem de distribuție a energiei termice la 24 de puncte termice, prin implementarea unor sisteme de automatizare și monitorizare la punctele termice și la consumatorii alimentați de acestea. Sistemul oferă posibilitatea monitorizării în timp real a parametrilor la punctele termice, precum și la consumatorii arondați. Datele achiziționate sunt procesate, arhivate și introduse într-o bază de date din calculatorul din punctul termic respectiv.

Pentru analiza efectuată a fost ales unul dintre aceste 24 de puncte termice, amplasat în cartierul Berceni.

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, dar conductele de distribuție care alimentează fiecare scară sunt montate în subsolul blocurilor. În analiză a fost cuprinsă doar rețeaua termică exterioară, până la intrarea în fiecare bloc.

Figura 9 reprezintă schematic ramura sistemului de distribuție analizată din punct de vedere teoretic și experimental. În schemă sunt prezentate lungimile tronsoanelor, precum și diametrele conductelor de pe fiecare tronson.

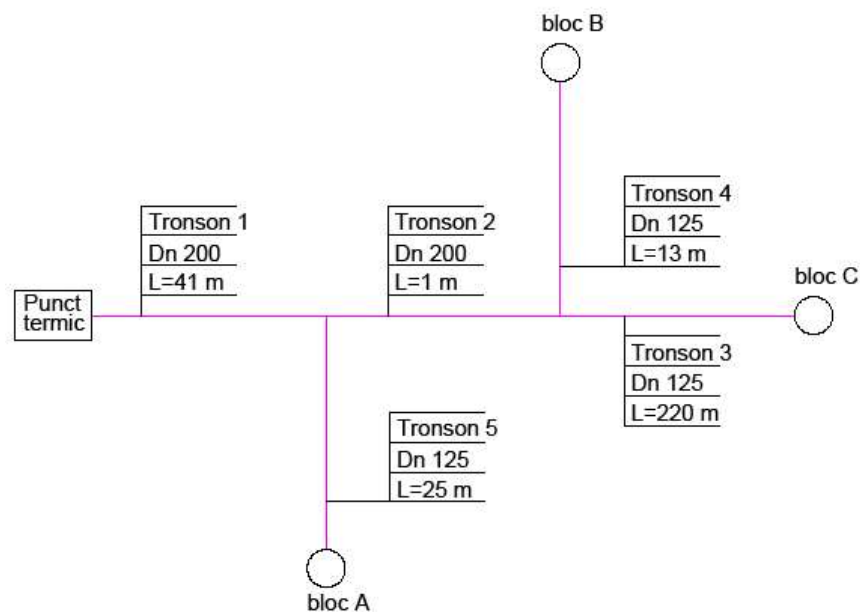


Figura 2 Ramura sistemului de distribuție pentru care s-au calculat pierderile termice teoretice

Caracteristicile fizice și termice ale tronsoanelor de conductă aparținând ramurii studiate a sistemului de distribuție sunt prezentate în Tabelul 8.

Tabelul 8 Caracteristicile fizice și termice ale tronsoanelor de conductă

				bl.C	bl.B	bl.A
Tronson	UM	1	2	3	4	5
D_i	m	0,2101	0,2101	0,1325	0,1325	0,1325
δ_t	m	0,0045	0,0045	0,0036	0,0036	0,0036
D_e	m	0,2191	0,2191	0,1397	0,1397	0,1397
δ_{iz}	m	0,048	0,048	0,043	0,043	0,043
D_{iz}	m	0,315	0,315	0,225	0,225	0,225
α_i	W/m ² K	1000	1000	1000	1000	1000
λ_t	W/mK	45	45	45	45	45
λ_{iz}	W/mK	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
L	m	41	1	220	13	25
λ_s	W/m ² K	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
R	mK/W	1,93	1,93	2,53	2,53	2,53
G	m ³ /s	0,03113889	0,01900000	0,0115	0,0075	0,01213889

În calcul au fost utilizate debitele măsurate de alimentare a celor trei consumatori. În tabel au fost prezentate și rezistențele termice ale tronsoanelor, calculate cu relația (10).

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

$$Q_p = \frac{1}{R} \cdot l \cdot \Delta t_{ml, sol} \quad (9)$$

$$R = \frac{1}{\pi \cdot D_i \cdot \alpha_i} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \alpha_t} \cdot \ln \frac{D_e}{D_i} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{iz}} \cdot \ln \frac{D_{iz}}{D_e} \quad (10)$$

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.

Ulterior s-au comparat rezultatele.

Tabelul 9 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 _B (°C)	tr _B (°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 10 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 _B (°C)	tr _B (°C)	Tur						Retur						Qtot (kW)	Qp (MWh)
				Qp1 (kW)	Qp2 (kW)	Qp3 (kW)			Qt (kW)	Qp1 (kW)	Qp2 (kW)	Qp3 (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

Se observă 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.

4. Scheme de racordare care permit alimentarea clădirilor reabilitate termic cu agent termic de temperatură redusă

Trebuie avut în vedere faptul că, atunci când blocurile de locuințe au fost cuprinse în programele de reabilitare termică ale autorităților locale, criteriile care au fost avute în vedere nu au inclus un factor esențial, și anume alimentarea clădirilor cu eficiență energetică ridicată din același punct termic, sau cel puțin din aceeași ramură a rețelei de distribuție aferente unui punct termic. Acest fapt a dus la situația actuală, în care același punct termic sau aceeași ramură a rețelei de distribuție aferente unui punct termic alimentează atât clădiri reabilitate, cât și clădiri nereabilitate termic. Din această cauză, alimentarea cu agent termic de temperatură redusă a clădirilor eficiente energetic ridică anumite probleme suplimentare.

Întrucât sistemele centralizate de alimentare cu energie termică din România alimentează în același timp clădiri cu eficiență energetică ridicată și clădiri nereabilitate termic, este necesar ca sistemele să funcționeze deocamdată după graficele de reglare actuale. Pentru furnizarea energiei termice cu agent de temperatură redusă a clădirilor reabilitate 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.

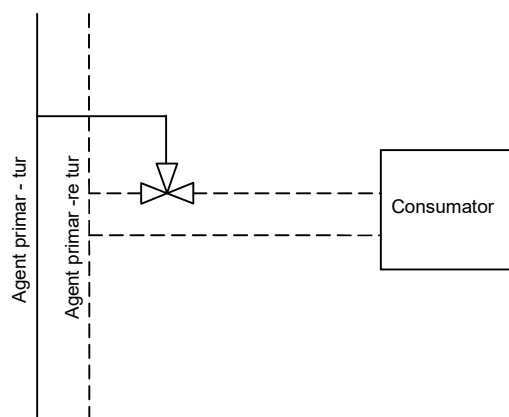


Figura 3 Schema de racordare a clădirilor cu eficiență energetică ridicată

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 3 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) (Figura 4) și funcționarea cu debit variabil (reglaj mixt) (Figura 5).

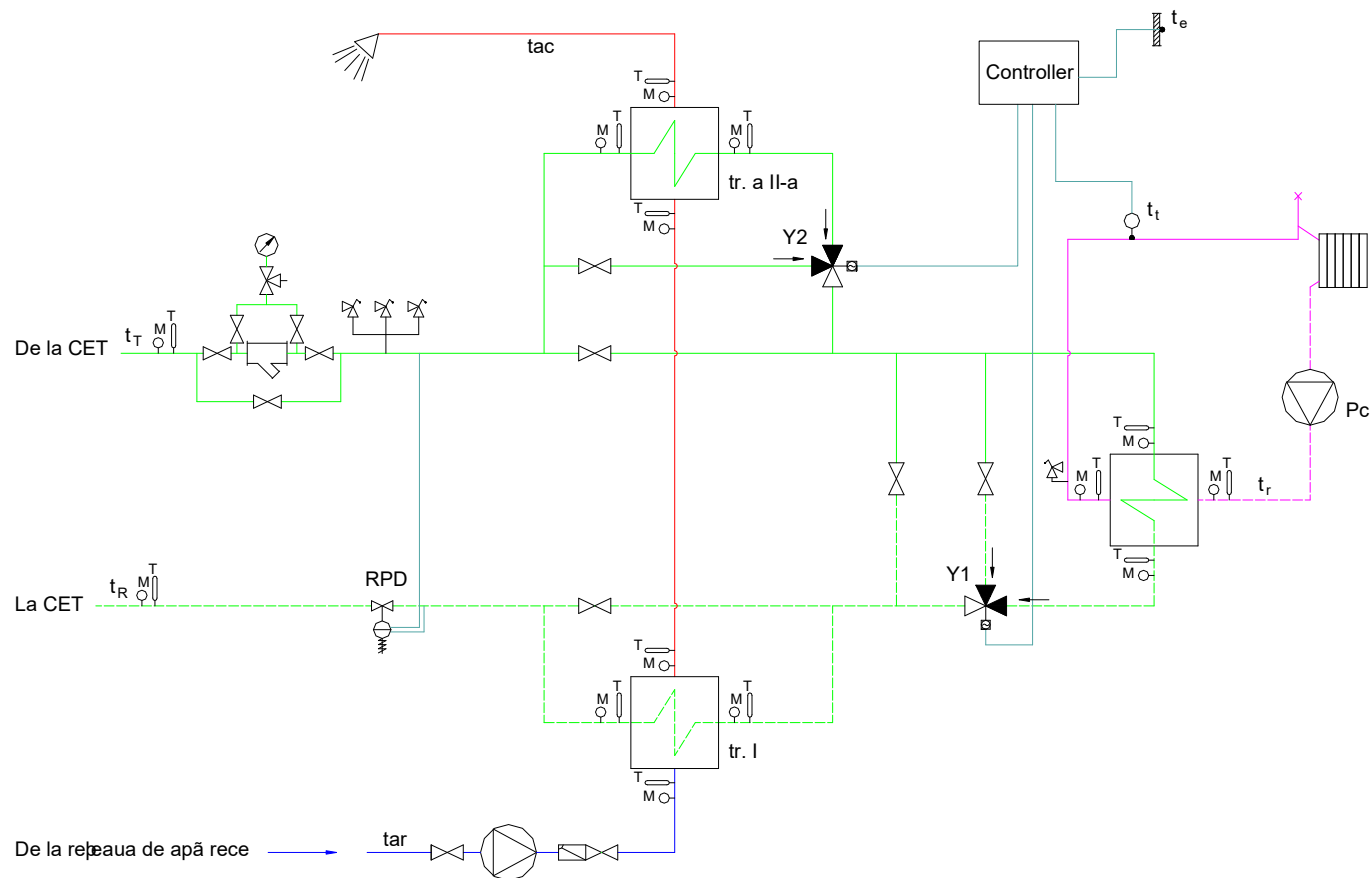


Figura 4 Schema de racordare indirectă a instalațiilor de încălzire și prepararea apei calde de consum în două trepte în serie cu instalația de încălzire - funcționare cu debit constant (reglaj calitativ)

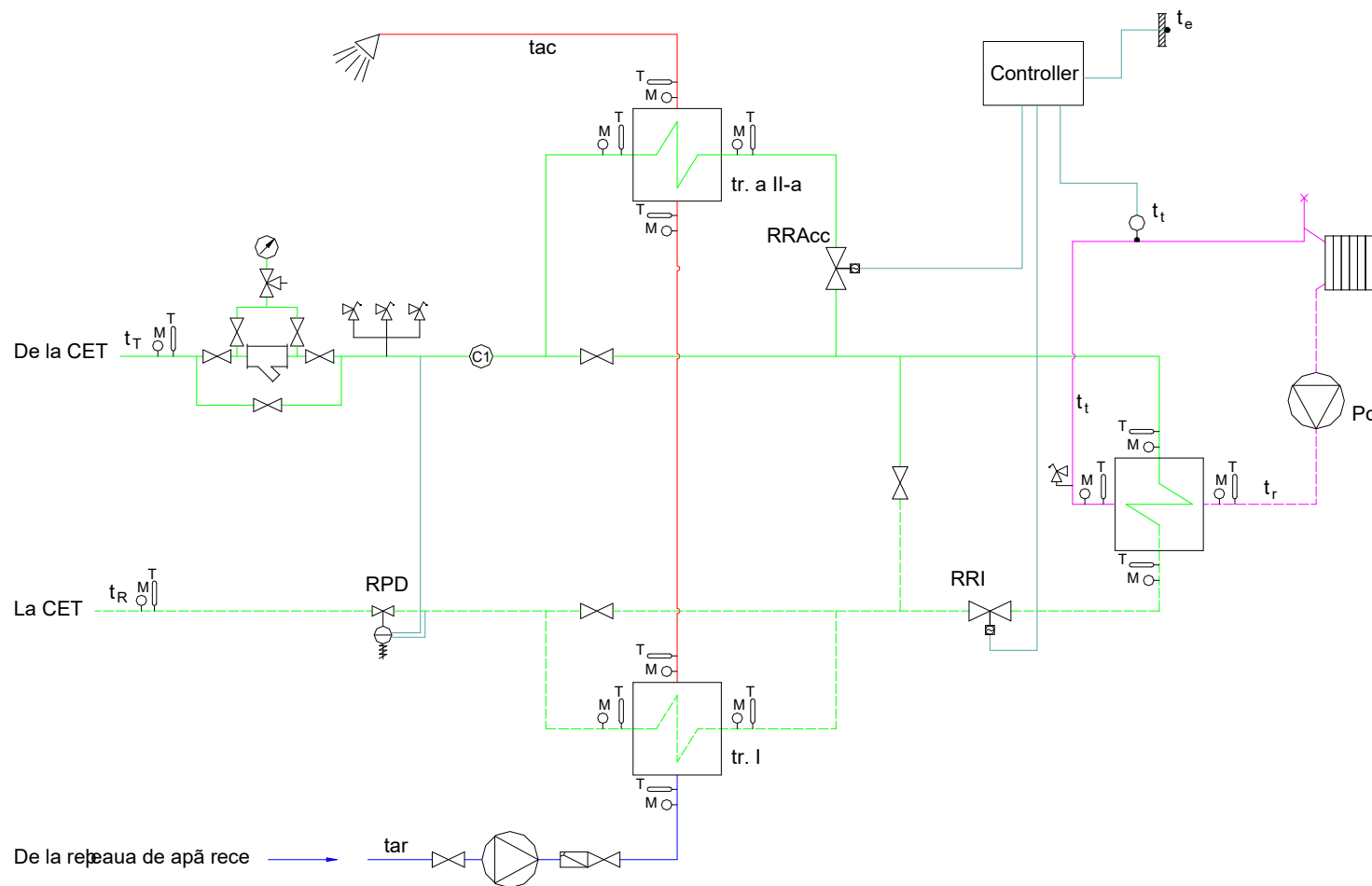


Figura 5 Schema de racordare indirectă a instalațiilor de încălzire și prepararea apei calde de consum în două trepte în serie cu instalația de încălzire - funcționare cu debit variabil (reglaj mixt)

În cazul funcționării cu debit constant (Figura 4), 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 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 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 (Figura 6).

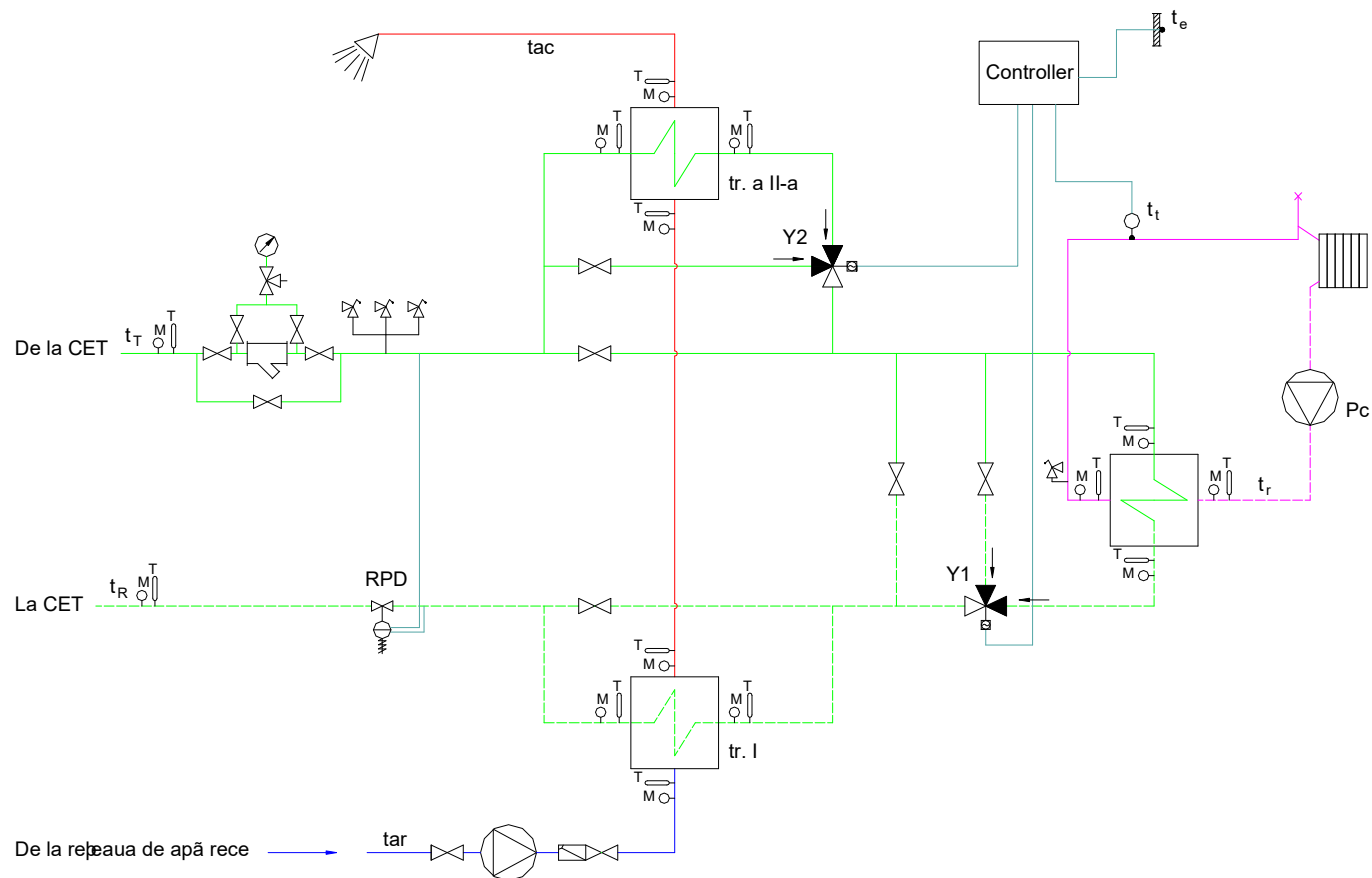


Figura 6 Schema de racordare indirectă a instalațiilor de încălzire și prepararea apei calde de consum în două trepte în serie cu instalația de încălzire - funcționare cu debit constant (reglaj calitativ) și temperatură scăzută

Nici în cazul funcționării cu debit variabil (Figura 4) 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 (Figura 7).

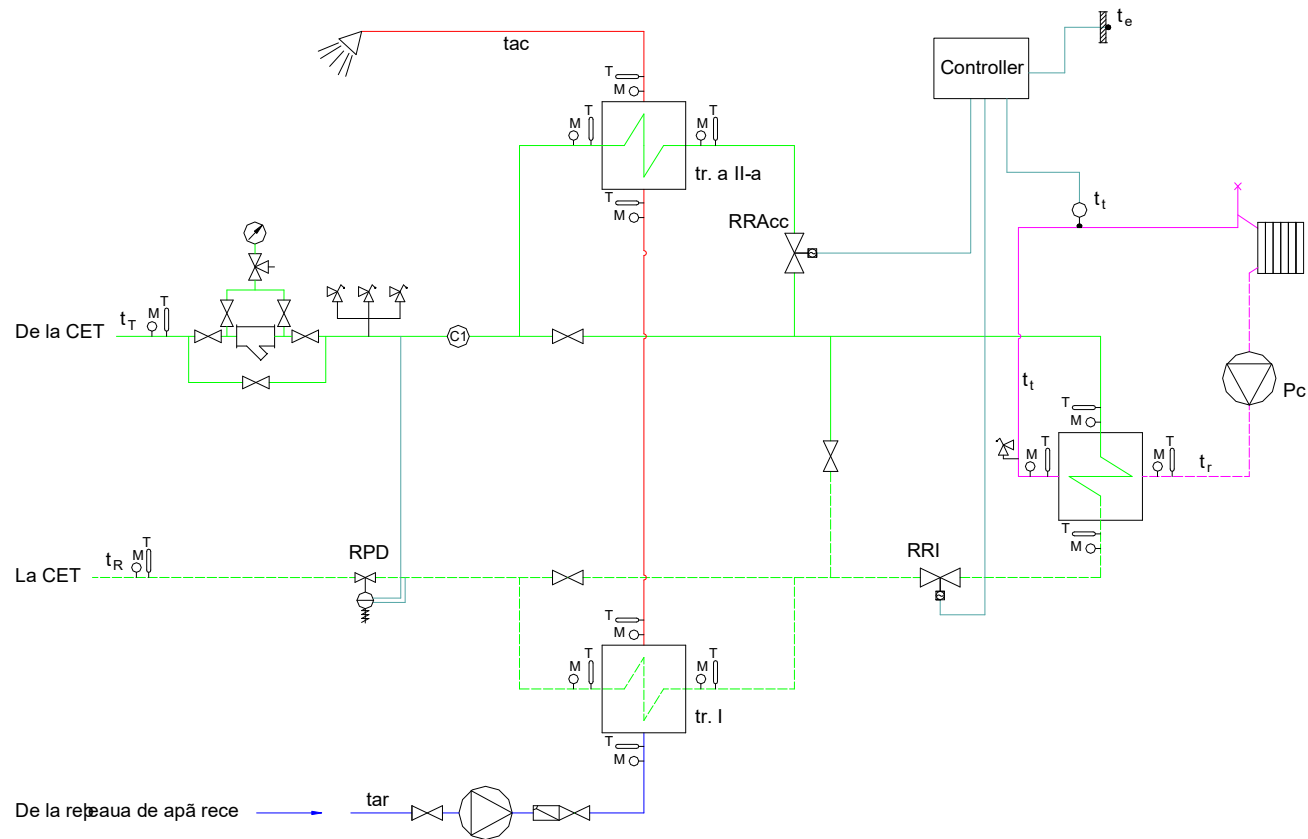


Figura 7 Schema de racordare indirectă a instalațiilor de încălzire și prepararea apei calde de consum în două trepte în serie cu instalația de încălzire - funcționare cu debit variabil (reglaj mixt) și temperatură scăzută

- 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) (Figura 8) și funcționarea cu debit variabil (reglaj mixt) (Figura 9).

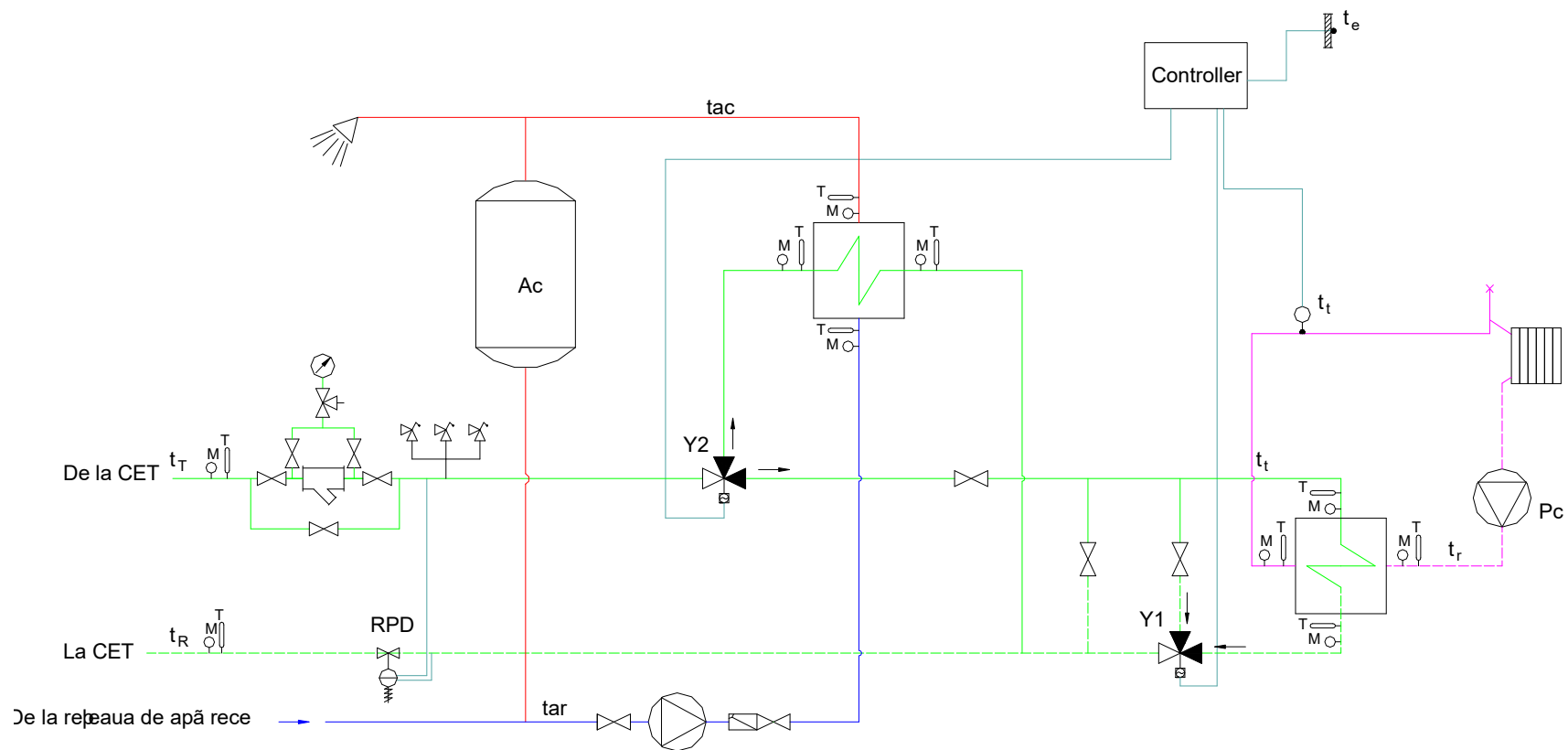


Figura 8 Schema de racordare indirectă a instalațiilor de încălzire și prepararea apei calde de consum într-o treaptă în paralel cu instalația de încălzire - funcționare cu debit constant (reglaj calitativ)

În cazul funcționării cu debit constant (Figura 8), se propune aceeași soluție ca și la schema precedentă: introducerea în controllerul electronic existent a 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 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 consumatori 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 consumatori 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 (Figura 10).

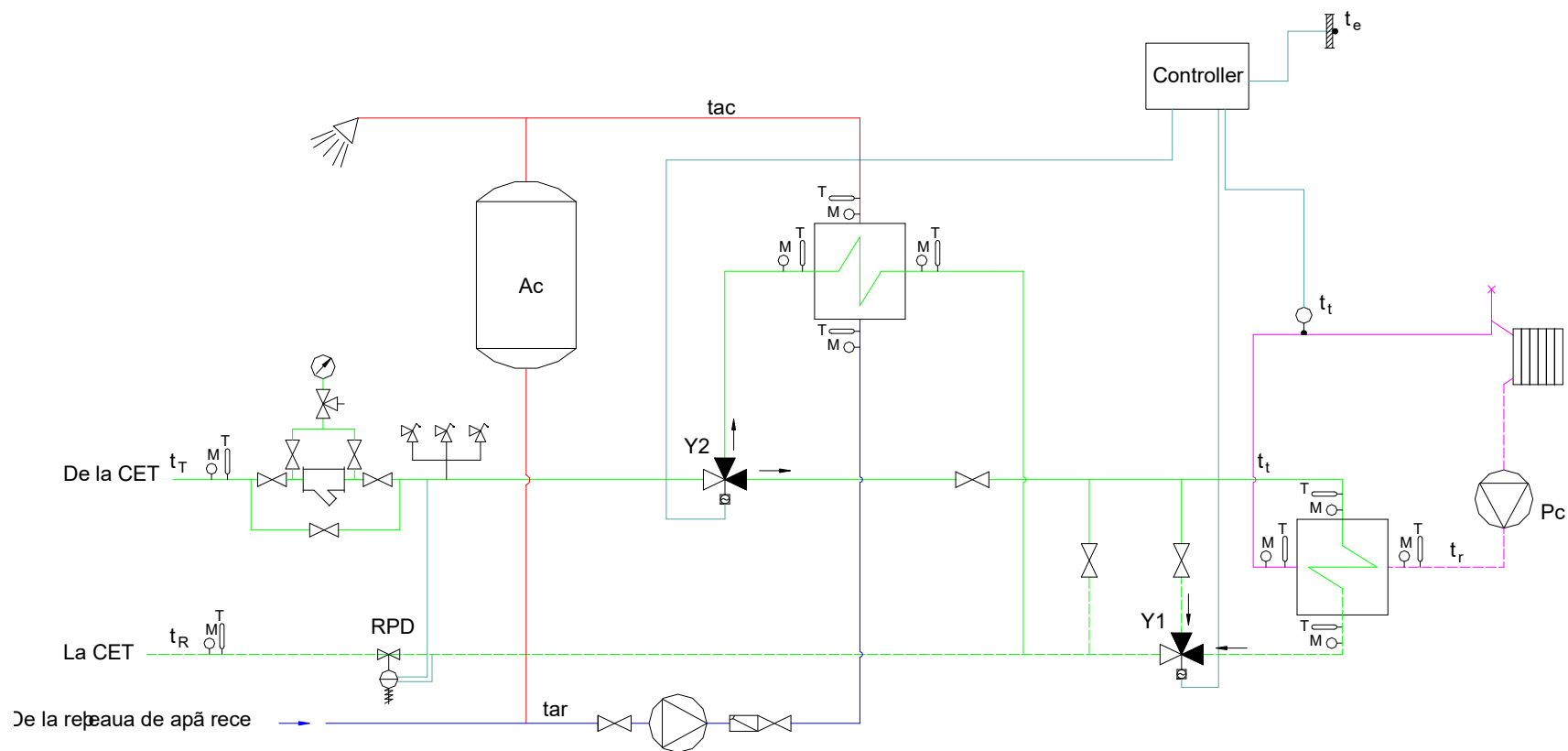


Figura 10 Schema de racordare indirectă a instalațiilor de încălzire și prepararea apei calde de consum într-o treaptă în paralel cu instalația de încălzire - funcționare cu debit constant (reglaj calitativ) și temperatură scăzută

În cazul funcționării cu debit variabil (Figura 9) nu sunt necesare noi echipamente pentru alimentarea consumatorilor cu agent termic de temperatură scăzută. Soluția constă tot în reprogramarea controllerului electronic existent prin introducerea noului grafic de reglaj al furnizării căldurii. Robinetul de reglare cu două căi existent va permite 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 consumatori 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 consumatori este mai mică decât cea prevăzută în graficul de reglare, controllerul comandă creșterea debitului de agent termic primar prin schimbătorul de căldură pentru încălzire (Figura 11).

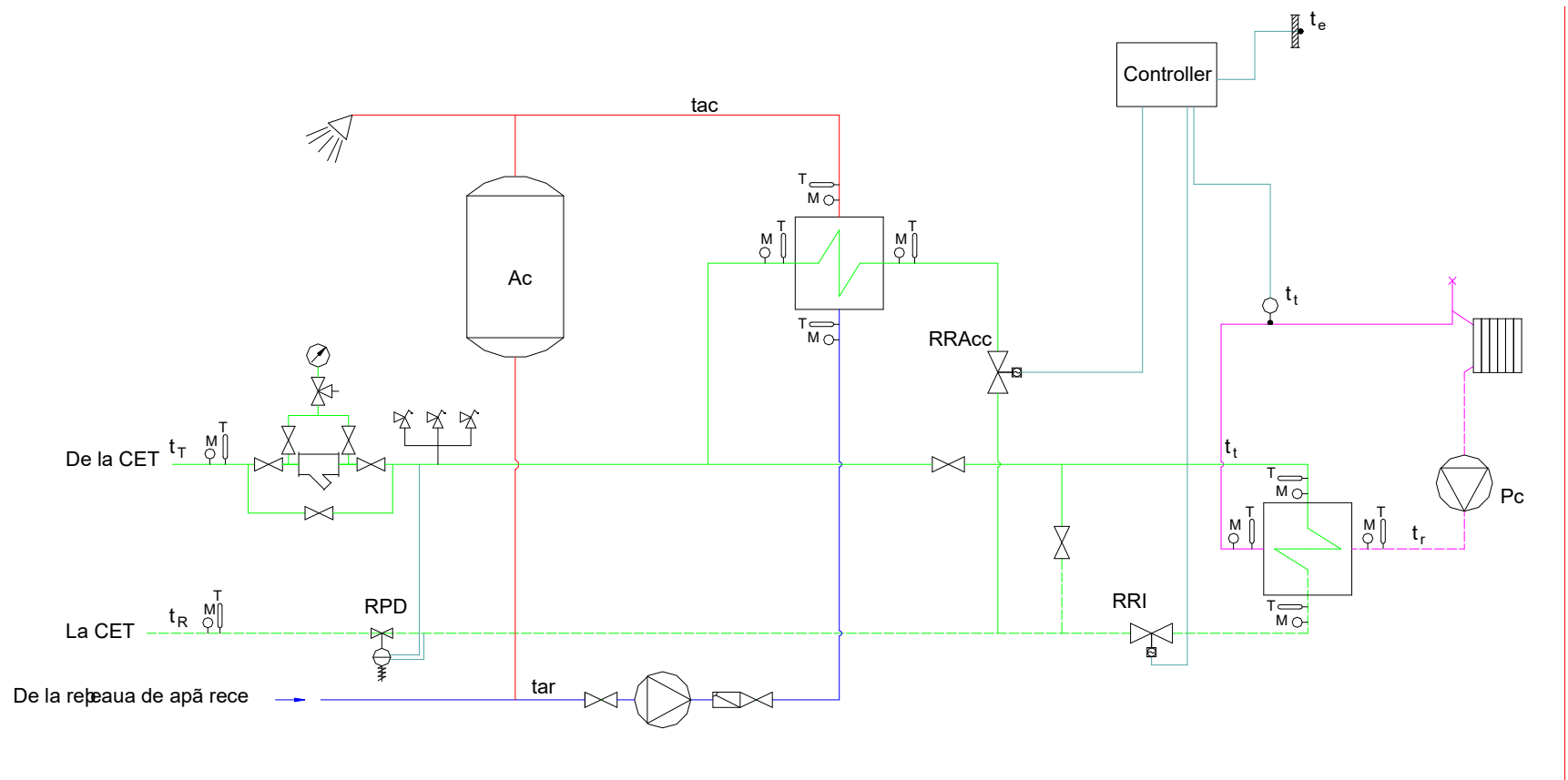


Figura 11 Schema de racordare indirectă a instalațiilor de încălzire și prepararea apei calde de consum într-o treaptă în paralel cu instalația de încălzire - funcționare cu debit variabil (reglaj mixt) și temperatură scăzută

- 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) (Figura 12) și funcționarea cu debit variabil (reglaj mixt) (Figura 13).

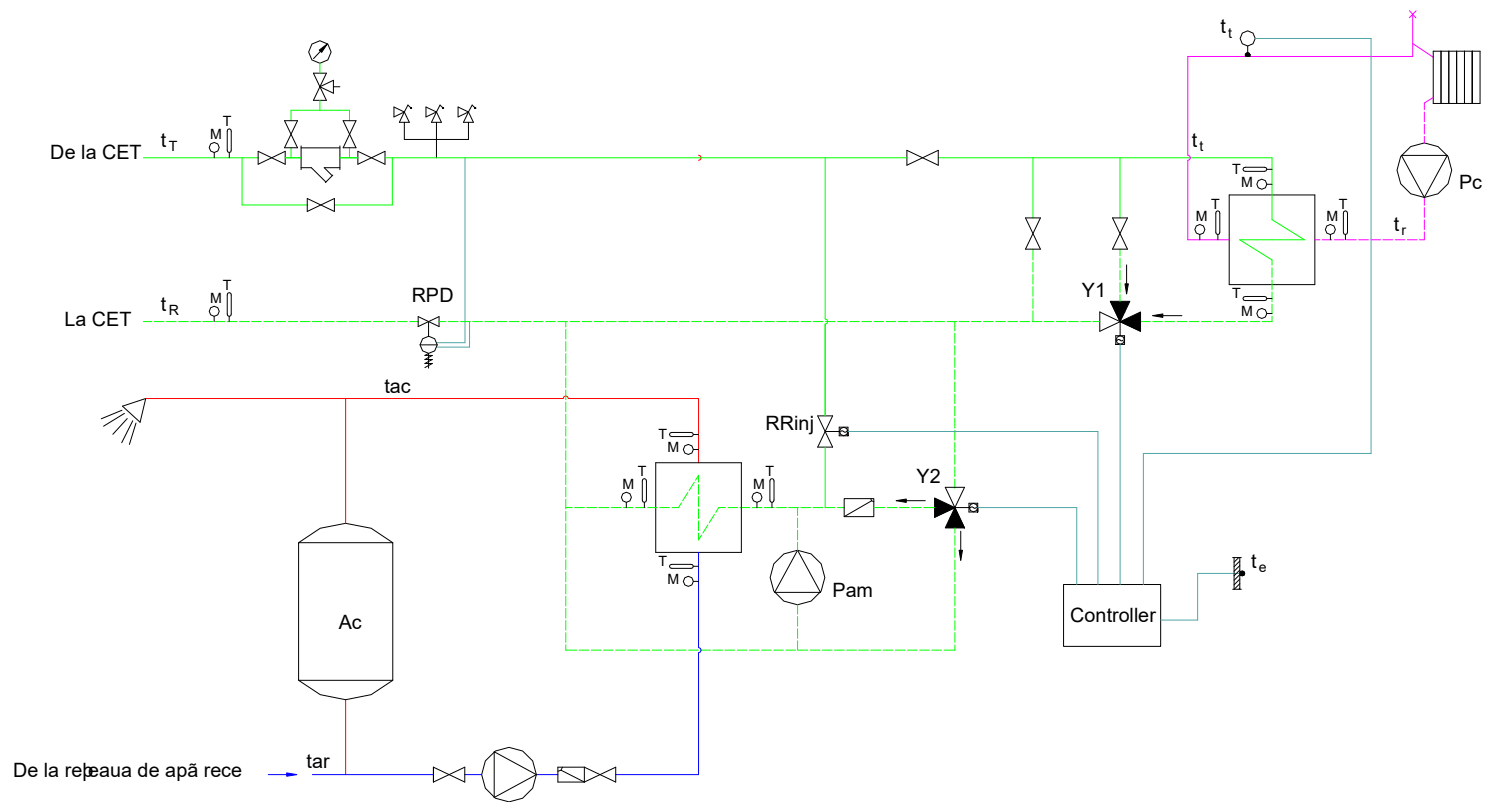


Figura 12 Schema de racordare indirectă a instalațiilor de încălzire și prepararea apei calde de consum într-o treaptă în serie cu instalația de încălzire, cu injecție și acumulare - funcționare cu debit constant (reglaj calitativ)

În cazul funcționării cu debit constant (Figura 12), se propune aceeași soluție ca și la schema precedentă: introducerea în controllerul electronic existent a 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 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 consumatori 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 consumatori 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 (Figura 14).

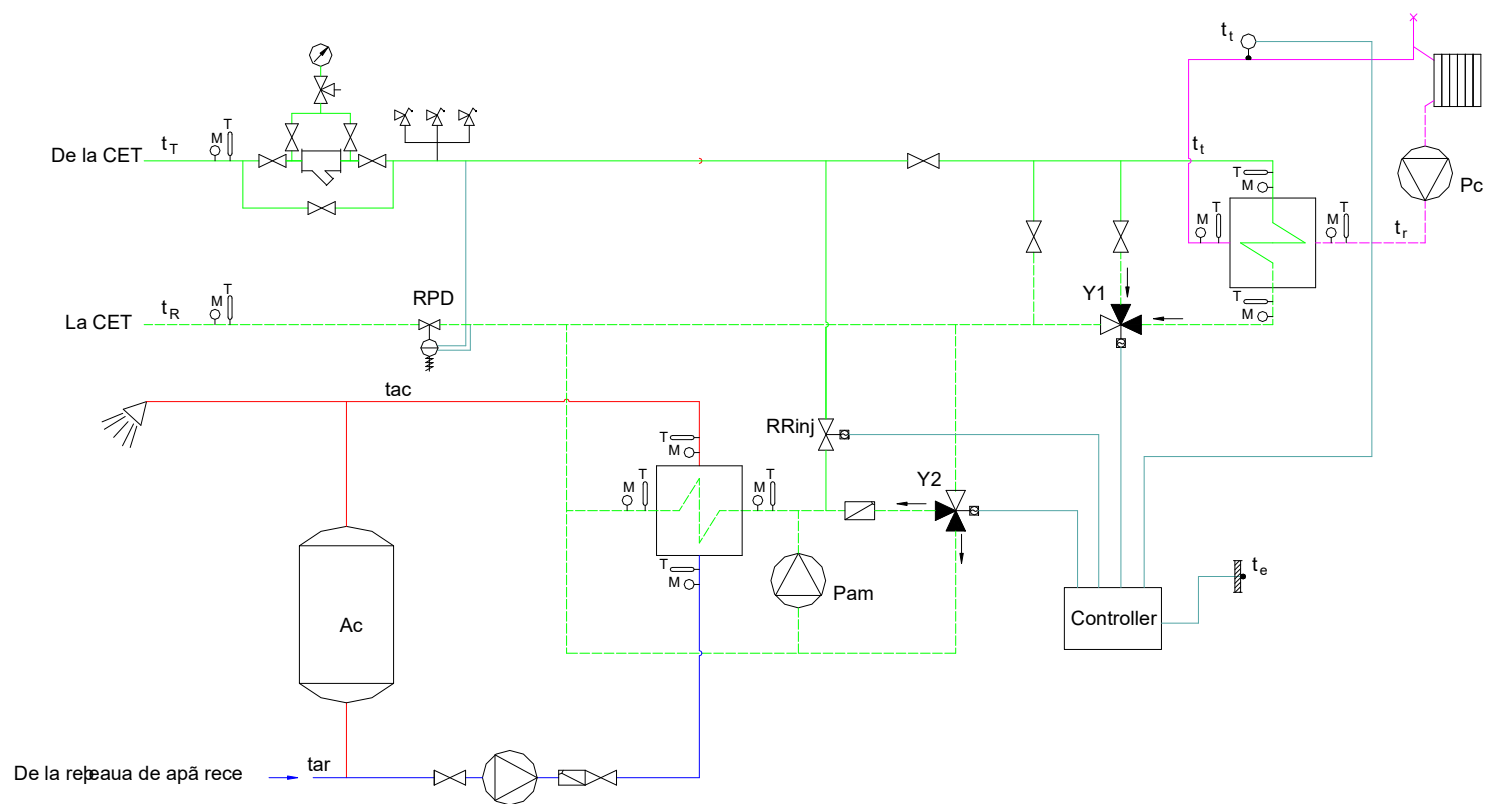


Figura 14 Schema de racordare indirectă a instalațiilor de încălzire și prepararea apei calde de consum într-o treaptă în serie cu instalația de încălzire, cu injecție și acumulare - funcționare cu debit constant (reglaj calitativ) și temperatură scăzută

În cazul funcționării cu debit variabil (Figura 13) nu sunt necesare noi echipamente pentru alimentarea consumatorilor cu agent termic de temperatură scăzută. Soluția constă tot în reprogramarea controllerului electronic existent prin introducerea noului grafic de reglaj al furnizării căldurii. Robinetul de reglare cu două căi existent va permite 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 consumatori 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 consumatori este mai mică decât cea prevăzută în graficul de reglare, controllerul comandă creșterea debitului de agent termic primar prin schimbătorul de căldură pentru încălzire (Figura 15).

Menționăm că metoda de racordare a punctelor termice care alimentează clădiri cu eficiență energetică ridicată prezentată în această lucrare se poate aplica în mod analog și celorlalte scheme de racordare, mai puțin uzuale și care nu au fost abordate în prezentul raport.

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 (Figura 16).

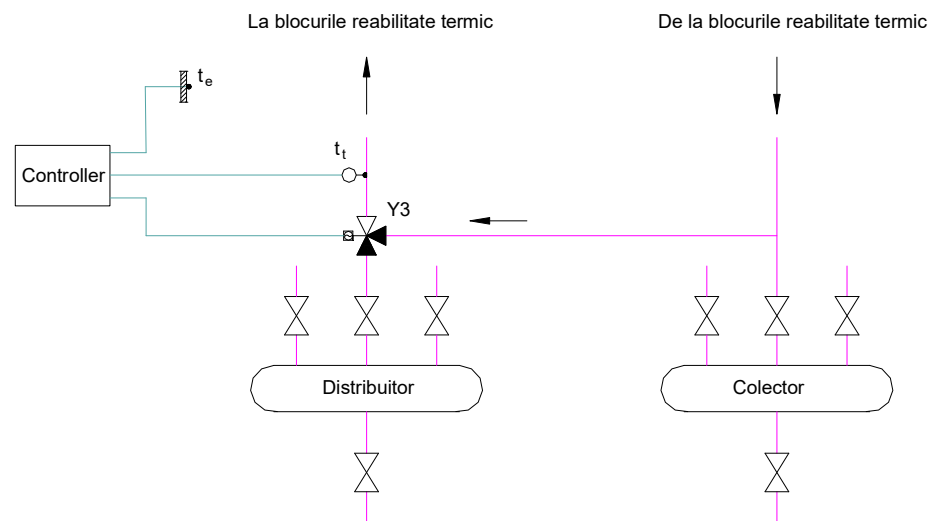


Figura 16 Schema de racordare a blocurilor reabilitate termic în cazul în care acestea sunt alimentate din aceeași ramură a rețelei de distribuție - cazul 1

Nu este obligatoriu ca debitul preluat de pe conducta de retur să provină de la consumatorii reabilitați termic. Acesta poate proveni și dintr-o altă ramură a colectorului (Figura 17) sau chiar din conducta generală de întoarcere care transportă agentul termic secundar de la colectorul de încălzire la schimbătorul de căldură (Figura 18), dacă montarea robinetului cu trei căi se poate face mai ușor. Totuși, este de preferat ca debitul să se preia din conducta de retur de la blocurile reabilitate (Figura 16), întrucât temperatura pe conducta de retur a agentului termic de la celelalte ramuri poate să fie mai ridicată decât cea necesară pentru alimentarea acestor consumatori. 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 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.

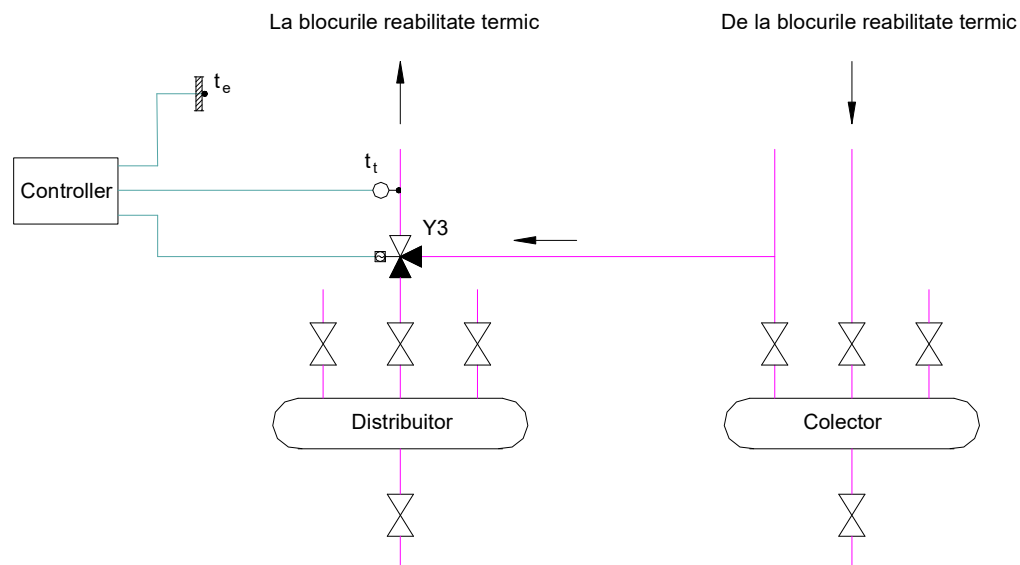


Figura 17 Schema de racordare a blocurilor reabilitate termic în cazul în care acestea sunt alimentate din aceeași ramură a rețelei de distribuție - cazul 2

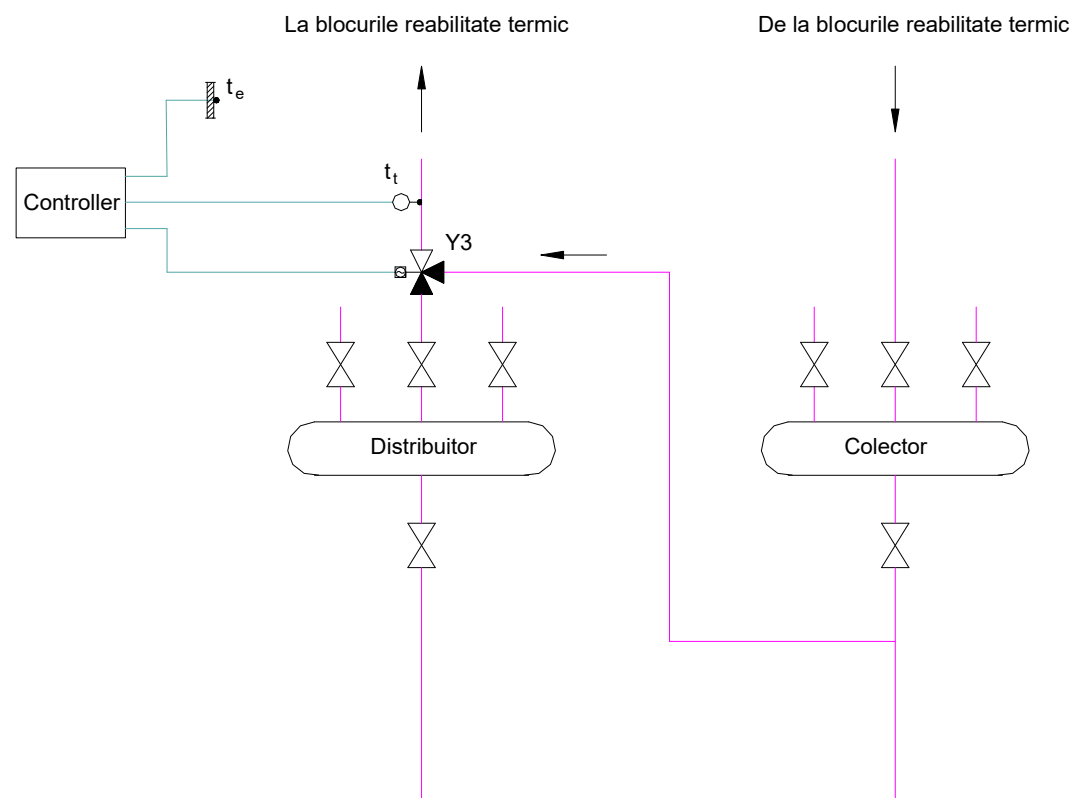


Figura 18 Schema de racordare a blocurilor reabilitate termic în cazul în care acestea sunt alimentate din aceeași ramură a rețelei de distribuție - cazul 3

O altă soluție este utilizarea unui robinet de reglare cu două căi (Figura 19), a cărei funcționare este bazată tot pe sonda de temperatură montată pe ramura care alimentează blocurile reabilitate. Graficul de reglare aferent consumatorilor cu eficiență energetică ridicată trebuie introdus în controllerul electronic, care compară temperatura din graficul de reglare corespunzătoare temperaturii exterioare cu cea transmisă de la sonda de temperatură. 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; dacă temperatura agentului termic care pleacă spre consumatori este mai mică 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.

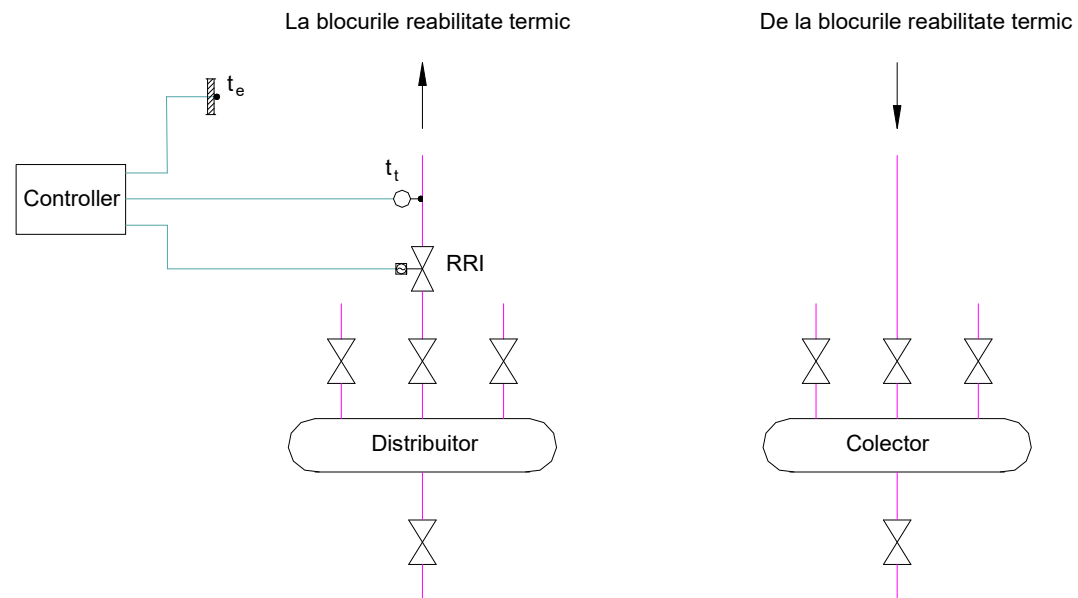


Figura 19 Schema de racordare a blocurilor reabilitate termic în cazul în care acestea sunt alimentate din aceeași ramură a rețelei de distribuție - cazul 4

Ambele scheme (atât cea care prevede utilizarea robinetului de reglare cu trei căi, cât și cea care prevede utilizarea robinetului de reglare cu două căi) se pot aplica numai în sisteme prevăzute cu pompe cu variatoare de turație, întrucât ambele conduc la funcționarea instalației cu debit variabil.

Alegerea soluției de utilizare a robinetului cu trei căi sau pe cea a robinetului cu două căi se face în urma unei analize riguroase, pentru fiecare caz parte. Alegerea soluției trebuie să se bazeze pe următoarele aspecte:

- debitele minime care pot apărea la utilizarea robinetului de reglare cu două căi nu trebuie să perturbe funcționarea instalației;
- debitul de agent termic care poate apărea în funcționarea instalației de încălzire la utilizarea robinetului de reglare cu două căi nu trebuie să fie mai mic decât debitul minim la care poate funcționa pompa care vehiculează agentul termic în sistem.

Aceste aspecte depind de numărul și mărimea consumatorilor reabilitați termic, precum și de gradul de reabilitare al acestora, deci de ponderea acestora în capacitatea totală a instalației de încălzire a punctului termic.

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 20.

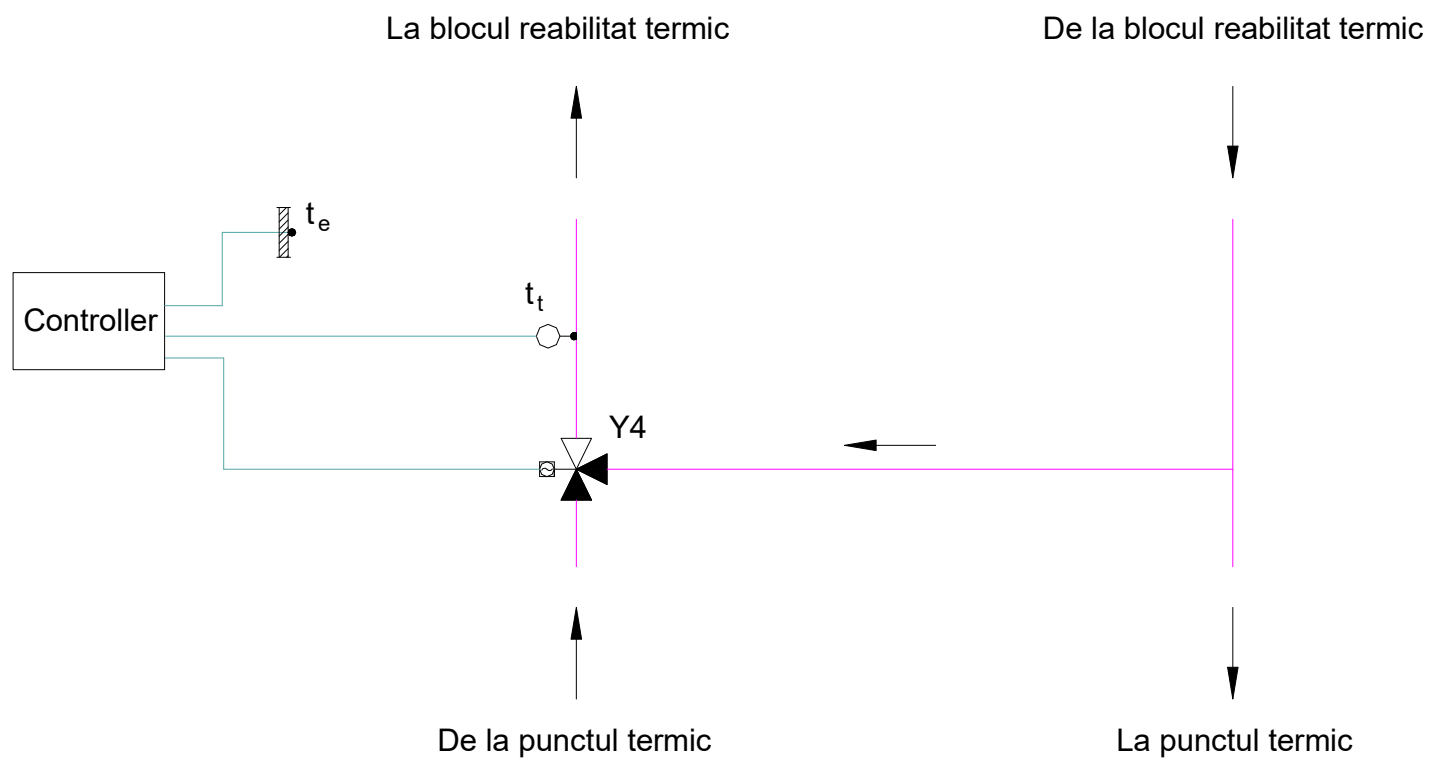


Figura 20 Schema de racordare a unui bloc sau a unor blocuri reabilitate termic în cazul în care acestea sunt alimentate din aceeași ramură a rețelei de distribuție cu alte blocuri nereabilitate termic

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. Această soluție se poate adopta și pentru un grup de două sau mai multe clădiri reabilitate situate la mică distanță una de alta. Pentru fiecare caz în parte, se va efectua o analiză tehnico-economică care va analiza mai multe soluții posibile și se va alege soluția cea mai eficientă.

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.

Cu toate că montajul unui modul termic de bloc sau de scară reprezintă cea mai bună soluție tehnică de racordare la sistemul centralizat de încălzire pentru o clădire reabilitată din punct de vedere termic, soluția are o serie de dezavantaje care fac necesară o analiză aprofundată și o aplicare de la caz la caz a acestei soluții, pe baza considerentelor de ordin tehnic și economic.

Avantaje:

- posibilitatea preparării agentului termic după graficul de reglare corespunzător fiecărei clădiri, în funcție de gradul de reabilitare termică

Dezavantaje:

- necesitatea unui spațiu special pentru montajul, exploatarea, întreținerea și reparațiile modului termic, spațiu care de cele mai multe ori nu există în cazul blocurilor de locuințe sau este impropriu acestui scop. Este preferabil ca spațiul respectiv să fie amplasat la parter, pentru a nu fi necesar să se modifice semnificativ instalațiile de distribuție existente (fapt care ar mări și mai mult costurile). Decizia trebuie luată la nivelul asociației de proprietari (lucru dificil). Se poate recurge la schimbarea destinației unui spațiu existent, dacă acesta are o suprafață suficient de mare (de exemplu a uscătoriei), fapt care privează locatarii de un serviciu care a fost asigurat la construcția inițială a clădirii. Dacă nu există niciun spațiu corespunzător sau dacă locatarii clădirii nu pot cădea de acord asupra unui spațiu, se poate opta pentru varianta construirii unei clădiri speciale pentru montajul și exploatarea modului termic, pe domeniul public, în imediata apropiere a clădirii (dezavantaje: tăieri de arbori, modificarea peisajului urban, obturarea unor ferestre de la parter, obținerea autorizației de construire etc.);

- având în vedere că montarea modului termic la nivel de bloc sau scară de bloc presupune și prepararea apei calde de consum la acest nivel, este necesară asigurarea debitului necesar de apă rece pentru prepararea apei calde. Racordul de apă rece care alimentează blocul de locuințe este dimensionat exclusiv pentru acoperirea necesarului de apă rece al locatarilor și nu poate asigura acest debit suplimentar. Este necesară o analiză riguroasă de la caz la caz și trebuie găsită o soluție, inclusiv, dacă este necesar, redimensionarea sistemului de distribuție a apei reci în zona respectivă și a conductei de racord;
- în cazul în care operatorul sistemului nu permite umplerea instalațiilor interioare și adaosul din rețeaua primară, este necesară montarea, în cadrul modului de adaos și expansiune aferent modului termic, a unei instalații de dedurizare, care presupune costuri suplimentare de investiție și întreținere, personal calificat etc.
- alimentarea modulelor termice cu agent termic primar presupune proiectarea de noi trasee ale sistemului de transport al căldurii, montarea de conducte noi pe trasee noi, fapt care, în afara costurilor aferente, impune și obținerea de avize, acorduri și autorizații, rezolvarea situațiilor la suprapunerea sau intersecția cu alte gospodării subterane (apă, canal, termice, electrice, gaze, telecomunicații etc.), lucru dificil în special în orașele mari;
- este soluția care prezintă costurile cele mai ridicate, atât de investiție, cât și de exploatare;
- se presupune că în final se va realiza reabilitarea termică a tuturor blocurilor de locuit, ceea ce va duce la posibilitatea utilizării uneia dintre celelalte soluții prezentate, soluții care au costuri asociate mult mai reduse; din acest motiv, montarea modulelor termice nu se va face decât după studierea planurilor de reabilitare a clădirilor elaborate de primăriile orașelor sau de primăriile de sector ale municipiului București. În cazul în care aceasta reprezintă doar o soluție temporară, nu se va alege soluția montării unui modul termic, cheltuielile și celelalte dezavantaje menționate anterior nefiind justificate.

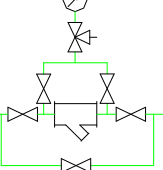
5. Concluzii

1. Anveloparea termică și furnizarea 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 $H/H_0=0,4$. 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.
2. 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.
3. 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.

6. 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 ₀	= coeficient complex de cuplaj termic prin anvelopa clădirii în cazul clădirii nereabilitate termic [W/K]
t _{i0}	= temperatura interioară convențională de calcul, determinată ca temperatura predominantă între temperaturile interioare convenționale de calcul din încăperile clădirii, conform SR 1907/2-2014 [K]
t _e	= temperatura exterioară [K]
t _{e0}	= temperatura exterioară convențională de calcul, determinată în funcție de zona climatică, conform SR 1907/1-2014 [K]
t _t	= temperatura pe conducta de tur (ducere) a agentului termic de distribuție (secundar) [K]
t _{t0}	= temperatura pe conducta de tur (ducere) a agentului termic de distribuție (secundar) în condiții nominale (la temperatura exterioară de calcul) [K]
t _r	= temperatura pe conducta de retur (întoarcere) a agentului termic de distribuție (secundar) [K]
t _{r0}	= temperatura pe conducta de retur (întoarcere) a agentului termic de distribuție (secundar) în condiții nominale (la temperatura exterioară de calcul) [K]
t _{ml}	= temperatura medie logaritmică a agentului termic [K]
Δt _{ml}	= diferența medie logaritmică de temperatură dintre fluidele între care se realizează transferul de căldură [K]
Δt _{ml0}	= diferența medie logaritmică de temperatură dintre fluidele între care se realizează transferul de căldură în condiții nominale [K]
k	= coeficientul global de transfer termic [W/m ² K]
k ₀	= coeficientul global de transfer în condiții nominale [W/m ² K]
G	= debitul de agent termic [m ³ /s]
G ₀	= debitul nominal de agent termic [m ³ /s]
ρ	= densitatea agentului termic [kg/m ³]
c	= căldura specifică a apei [W·s/kg·K]
S	= suprafața de transfer termic [m ²]
NTU	= number of thermal units (numărul de unități de transfer termic) [-] (adimensional)
E	= modulul termic al instalației interioare de încălzire [-] (adimensional)
E ₀	= modulul termic al instalației de încălzire în condiții nominale [-] (adimensional)
E _C	= modulul termic al instalației de încălzire a consumatorului [-] (adimensional)
E' _C	= modulul termic al schimbătorului de căldură pentru încălzire din punctul termic [-] (adimensional)
E _R	= modulul termic al rețelei termice de distribuție [-] (adimensional)
E' _R	= modulul termic al rețelei termice de transport [-] (adimensional)

Q_C	= cantitatea de căldură utilizată de consumator [W]
Q_{sursa}	= cantitatea de căldură livrată de sursă [W]
η_{SD}	= randamentul sistemului de distribuție a căldurii [-] (adimensional)
η_{ST}	= randamentul sistemului de transport al căldurii [-] (adimensional)
R	= rezistența termică medie a rețelei termice [$m \cdot K/W$]
Q_p	= pierderile termice ale rețelelor de distribuție a căldurii [W]
l	= lungimea tronsoanelor de conductă alerețelei de distribuție [W]
$\Delta t_{ml, sol}$	= diferența medie logaritmică de temperatură dintre agentul termic și solul în care este îngropată conducta [K]

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

7. Referințe

- [1] Ministerul Energiei - Strategia Energetică a României 2016-2030, cu perspectiva anului 2050, 19 decembrie 2016, p. 32
http://www.mmediu.ro/app/webroot/uploads/files/2017-03-02_Strategia-Energetica-a-Romaniei-2016-2030.pdf
- [2] Tomasz Cholewa, Alicja Siuta-Oлча, 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>
- [3] 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
- [4] 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. 19-30
- [5] 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 – ed. MATRIXROM, București, 2017, pp. 29-37
- [6] Adrian Marin, Cristina Stănișteanu, Florin Iordache, Rețele termice de distribuție. Aspecte energetice – Revista Română de Inginerie Civilă – Ed. MATRIXROM, București, Nr.2/2018