СИСТЕМИ ДАЉИНСКОГ ГРЕЈАЊА

DISTRICT HEATING SYSTEMS

Јелена Сребрић, дипл. инж., и мр Љиљана Марјановић, дипл. инж.,
Машински факултет, Београд

У раду је приказан један поједностављени модел система даљинског грејања, који омогућава да се формирају релативно једноставне термодинамичке релације, на основу којих је могуће израчунати непознате параметре система са задовољавајућом тачношћу. Посебно је обраћена пажња на прорачун губитка топлоте, који поред потребне количине топлоте за потрошаче, представља основни податак за све техно-економске прорачуне цевне мреже. Изложен је и пример прорачуна годишњих губитака топлоте за предизоловане цевоводе, који су данас у најширој примени.

A simplified model of a district heating system, based on ideal thermodynamic relations is presented. This approach allows the calculation of the system parameters with acceptable accuracy. An example of season heat loss calculation for preinsulated pipeline, based on the described model, is presented.

Кључне речи: даљинско грејање; прорачун губитака; предизоловани цевовод
Key words: district heating; heat balance; preinsulated pipeline

1. Математички модел система даљинског грејања

Детаљна анализа система даљинског грејања требало би да обухвати велики број утицајних параметара, међу којима о неким уопште нема података. Чак и при раду са рачунарским моделима, чији је капацитет примања информација знатан, уобичајено је да се при прорачуну стационарног режима рада изводе упрошћења, тако да се динамичко понашање система, које је знатно сложеније од понашања у стационарним условима рада, проучава само за веома упрошћене услове.

Постоје два правца упрошћавања система даљинског грејања. Један од њих представља увођење полуемпиријских модела. Други приступ је да се цевна мрежа даљинског грејања толико упрости, да омогући примену и решавање термодинамичких једначина. За оба приступа остаје проблем како кориговати добијене резултате, да би важили и за друге, сложеније, случајеве. Предност другог прилаза, ма колико био једноставан разматрани систем, састоји се у томе што су све потребне једначине коректно решене.

Пример другог приступа решавању проблема дат је у литератури [1]. Овај модел се заснива на систему даљинског грејања који је приказан на сл. 1 и који на једноставан, али поуздан, начин пружа важне информације о губицима топлоте из цевовода, хлађењу флуида у самој топлани, утицају присуства кућног обилазног вода у систему итд.

Као што се види, овај модел система даљинског грејања састоји се од једног потрошача, кућног обилазног вода, цевовода и извора топлоте. Основне

термодинамичке релације, које важе за овај систем су билансн топлоте и масе. Пошто је произведена топлота једнака утрошеној, биланс топлоте гласи:

$$q_c + q_p = q_h + q_t$$

где су:
q_c (kW) – количина топлоте добијена у котлу,
q_p (kW) – количина топлоте коју генерише пумпа,
q_h (kW) – количина топлоте коју троше корисници,
q_t (kW) – губици топлоте у цевоводу.

Биланс масе се изржава једначином:

$$m_c = m_h + m_b$$

где су:
m_c (kg/s) – укупан проток воде, која се загрева у котлу,
m_h (kg/s) – проток воде кроз потрошачку инсталацију,
m_b (kg/s) – проток кроз обилазни вод.

Претпоставља се да су познати следећи параметри:

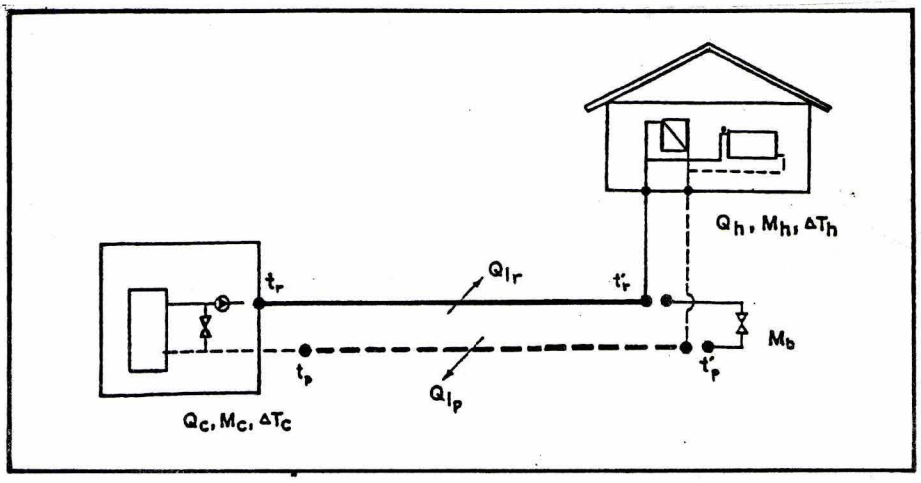
– за потрошачку инсталацију: потребна количина топлоте q_h; проток флуида m_h

– за кућни обилазни вод: однос $s = m_h/m_c$; укупна количина воде која кружи кроз систем m_c

– за цевовод: дужина L; коефицијент губитка топлоте по дужном метру цеви разводне и повратне мреже K,

– за извор топлоте: температура разводне воде t_r.

Користећи наведене величине, могуће је израчунати потребне карактеристике система из релативно једноставних термодинамичких једначина. Тако, на пример, хлађење воде у потрошачкој инсталацији добија се као:



Слика 1. Модел система даљинског грејања

$$q = m_h \int_{\tau_p}^{\tau_k} c_p \, dt = m_h \bar{c}_p \left(t'_r - t'_p\right)$$

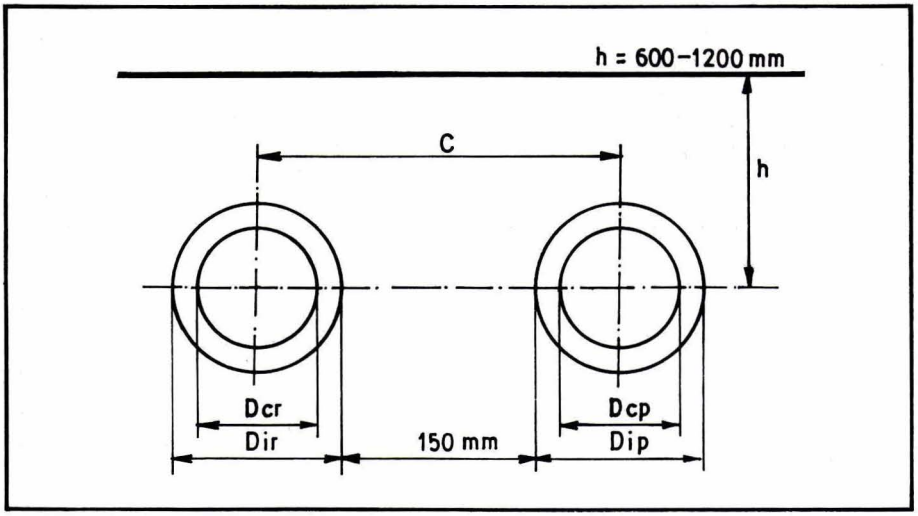
$$\Delta t_h = t'_r - t'_p$$

При прорачуну губитака топлоте из цевовода примењује се линеарна апроксимација, па се за температуру у разводном воду користи средња вредност температуре разводне воде коју шаље топлана и температуре воде на улазу у потрошачку инсталацију:

$$\bar{t}_r = \frac{\left(t'_r + t_r\right)}{2}$$

Губитак топлоте у самом кућном обилазном воду се занемарује, што значи да се температура повратне воде, након мешања воде из обилазног вода и потрошачке инсталације може израчунати као:

$$t'_p = t'_r - \Delta t_h s$$

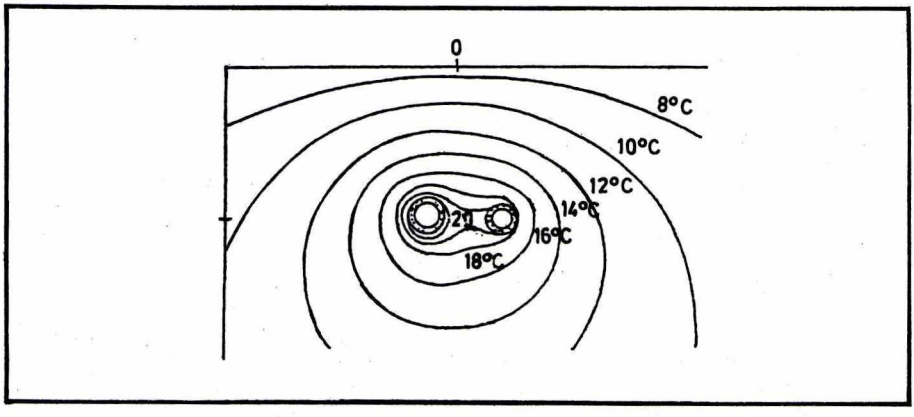


Слика 2. Предизоловани цевовод

Помоћу ових релација, биланса топлоте и масе, као и датих параметара система, могуће је добити вредности температуре:

$$\frac{t_r}{t_p}, \frac{t'_r}{t'_p}$$

Прорачун губитка топлоте из цевне мреже, која је укопана у тло, сличан је прорачуну губитака топлоте надземног цевовода, али је компликованији због утицаја топлотне отпорности околног тла. Аналитички изрази за топлотни отпор тла и размену топлоте између разводне и повратне цеви приложени у [1] проверени су методом коначних елемената. Ти изрази су у ствари приближне једначине, којима се одређују губици топлоте са задовољавајућим степеном тачности, при чему се узима у разматрање велики број параметара, који нису уопште познати, или су тешко мерљиви. Иначе, проблем губитака топлоте је равански, а у неким случајевима и просторни.



Слика 3. Изотерме прорачунате за предизоловани цевовод на дубини од 0,9 m

Према усвојеном моделу, аналитички изрази за предизоловани цевовод, чија је шема приказана на сл. 2, имају следећи облик:

– губици топлоте по дужном метру цеви за разводни и повратни:

$$q_{1r} = K_{1r}(t_r - t_g) - K_{2r}(t_p - t_g) \quad (\mathrm{kW/m})$$

$$q_{1p} = K_{1p}(t_p - t_g) - K_{2p}(t_r - t_g) \quad (\mathrm{kW/m})$$

што у случају симетричног укопавања цеви, када је $K_1 = K_{1r} = K_{1p}$ i $K_2 = K_{2r} = K_{2p}$, даје укупне губитке топлоте:

$$q_{1r} + q_{1p} = 2\left(K_1 - K_2\right)\left(\frac{t_r + t_p}{2} - t_g\right) \quad (\mathrm{kW/m})$$

где је t_g температура тла у висини средишта попречног пресека цеви, далеко од саме цеви:

– коефицијент губитака топлоте:

$$K_{1r} = \left[\frac{R_{gr} + R_{ir} - R_{hr}R_{hp}}{\left(R_{gr} + R_{1p}\right)}\right]^{-1} \quad (\mathrm{W/mk})$$

– коефицијент губитака топлоте:

$$K_{2r} = \left[\frac{\left(R_{gr} + R_{ir}\right)\left(R_{gp} + R_{ip}\right)}{R_{hp} - R_{hr}} \right]^{-1} \quad (W/mk)$$

– топлотни отпор земљишта, укључујући отпор на самој површини тла:

$$R_{gr} = \left(\frac{1}{2\pi\lambda_g}\right) \ln \left[\frac{2H}{D_{ir}} + \sqrt{\left(\frac{2H}{D_{ir}}\right)^2 - 1} \right] \quad (mk/W)$$

– коригована дубина средишта цеви:

$$H = h + 0{,}0685\, \Lambda_g \quad (m)$$

– топлотни отпор изолације:

$$R_{ir} = \left(\frac{1}{2\pi\lambda_1}\right) \ln \left(\frac{D_{ir}}{D_{cr}}\right) \quad (mk/W)$$

– топлотни отпор у вези са узајамним дејством температурских поља у вези:

$$R_{hr} = \left(\frac{1}{2\pi\lambda_g}\right) \ln \left[1 + \left(\frac{2H}{C}\right)^2 \right] \quad (mk/W)$$

Недостаци овог модела су у томе што су при извођењу претходних једначина претпостављени гранични услови, који се, строго узевши, не срећу у пракси. На пример, радијалан пренос топлоте кроз изолацију се претпоставља, тако да се добија иста вредност температуре површине изолације дуж целе трасе. Друга претпоставка се односи на температуру површине тла, за коју је узето да је једнака температури ваздуха, тј. сматра се да температура површине тла изнад саме цеви није виша од оне удаљене од цеви. Уместо ове последње претпоставке, може бити примењена линеарна апроксимација промене температуре кроз тло између спољашње површине цевовода и површине тла. Скица (сл. 3) изотерми прорачунатих за укопане предизоловане цевоводе на дубини од 0,9 m, у [3], потврђује реалност такве претпоставке.

2. Примене усвојеног модела на примеру из праксе

Резултати овог модела се односе на предизоловани цевовод, који је бесканални и данас се најчешће примењује. На основу података који се користе у пракси за пројектовање и извођење бесканалног развода [4], израчунава се помоћу датих аналитичких израза коефицијент пролаза топлоте за разне називне величине предизолованог цевовода.

Резултати су приказани на дијаграму на сл. 4. Као што се види на дијаграму, при мањим називним величинама, коефицијент губитака топлоте мења се спорије, док се при средњим називним величинама овај пораст убрзава, да би се на крају опет ублажио.

3. Годишњи губици топлоте

Када су одређени коефицијенти губитака топлоте, могуће је израчунати годишњи губитак топлоте:

$$q_1 = \frac{Q_1}{L} = K \int_0^{8760h} \Delta t_s \, d\tau = K\Delta\overline{T}_g \, 8760h \quad (GJ/m)$$

$$K = 2\left(K_1 - K_2\right)$$

где је: $\Delta\overline{T}_g$ – средња температурска разлика између цеви и тла.

Уколико унесемо вредности коефицијента губитака топлоте K (W/mk), добијамо:

$$\frac{Q_1}{L} = K\, 0{,}031536\, \Delta\overline{T}_g \quad (GJ/m)$$

Приказ ове једноставне, али веома важне, релације приказан је на дијаграму (сл. 5). Очигледно је да ће велики пречници и велике температурске разлике имати исти ефекат на годишњи губитак топлоте, тј. цев већег пречника која има ниже температуре воде имаће исте губитке топлоте као и мања цев са вишим температурама воде.

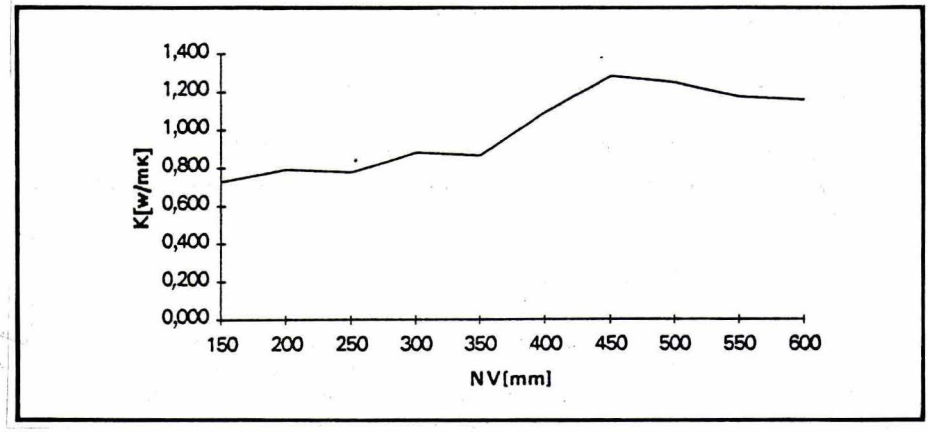
	D_{cr} (mm)	D_{ir} (mm)	D_{cp} (mm)	D_{ip} (mm)	h (mm)	C (mm)
NV 150	168,3	250,0	168,3	250,0	925,0	400,0
NV200	219,1	315,0	219.1	315.0	957.5	465.0
NV 250	273,0	400,0	273.0	400	1000,0	550,0
NV 300	323,9	450,0	323,9	450,0	1025,0	600,0
NV 350	355,6	500,0	355,6	500,0	1050,0	650,0
NV 400	404,4	520,0	404,4	520,0	1060,0	670,0
NV 450	457,2	560,0	457,2	560,0	1080,0	710,0
NV 500	508,0	630,0	508,0	630,0	1115,0	780,0
NV 550	558,8	710,0	558,8	710,0	1155,0	860,0
NV 600	609,6	780,0	609,6	780,0	1190,0	930,0

При прорачуну претпостављају се средње вредности коефицијената провођења топлоте:

– за тло λ_g = 1,5 W/mk

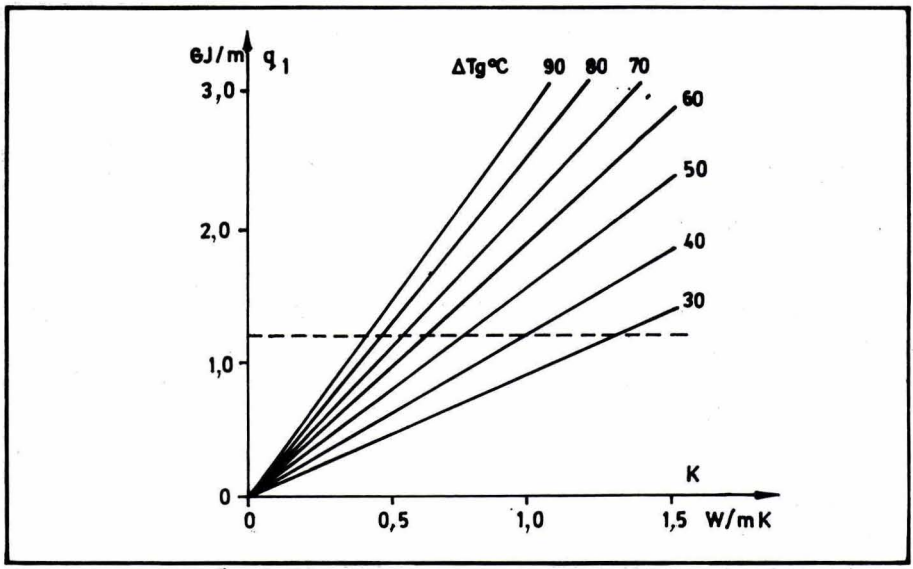
– за изолацију λ_t = 0,03 W/mk

	H (m)	R_g (mK/W)	R_i (mK/W)	R_h (mK/W)	K_1 (mK/W	K_2 (mK/W)	K (mK/W)
NV 150	1,028	0,297	2,099	0,351	0,427	0,063	0,728
NV 200	1,060	0,275	1,926	0,327	0,465	0,069	0,791
NV 250	1,103	0,254	2,027	0,301	0,446	0,059	0,775
NV 300	1,128	0,243	1,744	0,288	0,514	0,075	0,879
NV 350	1,153	0,234	1,808	0,277	0,499	0,068	0,862
NV 400	1,163	0,231	1,334	0,273	0,659	0,115	1,088
NV 450	1,183	0,225	1,076	0,265	0,802	0,163	1,278
NV 500	1,218	0,215	1,142	0,252	0,763	0,142	1,243
NV 550	1,258	0,206	1,270	0,239	0,696	0,113	1,166
NV 600	1,293	0,198	1,308	0,230	0,680	0,104	1,152



Слика 4. Дијаграм зависности коефицијента пролаза топлоте од називних величина цеви

На основу ових дијаграма могуће је директно одредити годишњи губитак топлоте по дужном метру ове врсте предизолованих цеви, у зависности од њихових називних величина.



Слика 5. Дијаграм годишњих губитака по дужном метру цеви у зависности од коефицијента пролаза топлоте

4. Закључак

У овом раду приказан је један поједностављени модел система даљинског грејања, који омогућава да се формирају релативно једноставне термодинамичке релације, на основу којих је даље могуће израчунати непознате параметре система са задовољавајућом тачношћу. Примена модела је показала да годишња потрошња топлоте по дужном метру цеви изразито зависи од избора називне величине цеви и температурске разлике разводне и повратне воде. За предизоловане цевоводе, зависност потрошње од називне мере је посебно изражена за средње вредности називних мера.

Литература

[1] **Bohm, Benny :** *Energy-Economy of Danish District Heating Systems,* A Technical and Economy Analyisis, 1988.

[2] *** * *:** *District Heating and Cooling,* 1992 Systems and Equipment Handbook (SI), ASHRAE, 1992.

[3] **Christiansen, Jens:** *Trends in the use of industrially produced preinsulated pipe systems in the designing of large district heating schemes,* Collection of Papers, Designing Construction and Operation of Heating Networks, Part II, 1982 Kiev, USSSR.

[4] *** * *:** "i.c. møler a/s", Prefabricated pipe system for district heating, manual, 7th edition.