

УТИЦАЈ НАЧИНА И УСЛОВА ПОЛАГАЊА ТОПОВОДА НА ЊЕГОВУ АКУМУЛАЦИОНУ СПОСОБНОСТ

INFLUENCE OF THE WAYS AND CONDITIONS OF DISTRICT HEATING LAYING ON THEIR ACCUMULATION CAPACITY

*Др Шефик М. Бајмак, д-р инж.,
Машински факултет, Приштина*

За снижење инвестиционих трошкова изградње система за грејање и поједностављење експлоатације, примењују се различите методе којима се ублажавају нагли промене топлотног оптерећења потрошача са акумулацијом топлоте. При томе се користи природна акумулациона способност појединих елемената грејних система.

У раду се анализирају акумулациона способности топовода, оптимални рок ошклањања кварова у топлој мрежи, врсте коришћене изолације, начин полагања топлотне мреже и температура разводне воде које успоравају процес хлађења када носиоца топлоте мирује.

In order to decrease the investments in performing of heating system and simplify the exploitation, the different methods of moderating the sudden changes of consumer heating loads with heat accumulation are applying. In the same time, one uses the ability of natural accumulation of heating system elements. The district heating accumulation ability, the optimal periods of faults prevention in heating network, the types of used insulation, the way of laying the heating ducts and distribution water temperature which slow down the cooling process when the heat carrier is resting, are analyzed in this paper.

*Кључне речи: топовод, хаварија, коефицијент акумулације,
време хлађења*

Key words: heating; break-down; coefficient of accumulation; cooling time

1. Увод

За смањење трошкова улагања у изградњу система за грејање и поједностављење експлоатације, примењују се различите методе за ублажавање наглих промена топлотног оптерећења потрошача са акумулацијом топлоте. При томе се користи акумулациона способност појединих елемената система за грејање (грађевински елементи објекта, цевоводи, мреже) као и специјални топлотни акумулатори који се постављају код потрошача или на посебним местима за грејање.

Коришћење акумулационе способности објекта за регулацију одавања топлоте, допушта се само у границама када се обезбеђују услови угодности у којима температура треба да се креће око 17–20°C. Очекивана унутрашња температура у загреваним објектима, у °C, при коришћењу њихових акумулационих способно-

сти, односно у режимима када довођење топлоте није једнако топлотним губицима, може се одредити по приближној формули [1]:

$$t_u = t_s + Q_o / q_o V + \left[t'_u - t_s - Q_o / q_o V \right] / \exp(Z / \beta) \quad (1)$$

При потпуном прекиду грејања и одсуства унутрашњих извора, односно при $Q = 0$, једначина (1) прима облик:

$$t_u = t_s + \left(t'_u - t_s \right) / \exp(Z / \beta) \quad (2)$$

При хаварији топлотних мрежа, настаје прекид у снабдевању топлотом стабено-административних објеката и производних погона. Нарушавањем режима рада топлотних мрежа настају огромни социјални и економски проблеми.

2. Дефинисање коефицијента акумулације и време хлађења топлотне мреже

Уопште, коефицијент акумулације карактерише акумулациону способност објекта. Одређује се на основу експерименталне формуле [1]:

$$\beta_{ob} = Z / \left[\ln \left(t'_u - t_s - Q_o / q_o V \right) - \ln \left(t_u - t_s - Q_o / q_o V \right) \right] \quad (3)$$

По методи проф. Ј. Ј. Соколова [1], коефицијент акумулације топлоте топловода дефинише се изразом:

$$\beta_{tv} = 0,28 \sum R \left(V_{te} c_{te} \varphi_{te} + V_{zc} c_{zc} \varphi_{zc} \right) \quad (4)$$

Хлађење носиоца топлоте у топловоду после хаварије, односно после мировања флуида у цевном систему, зависи од коефицијента акумулације β_{tv} , на чина и услова полагања топлотне мреже и параметара носиоца топлоте. Температура носиоца топлоте за време после прекида циркулације израчунава се по изразу [1]:

$$\tau_k = t_o + \left(\tau_{nt}^p - t_s \right) / \exp(Z / \beta) \quad (5)$$

3. Одређивање основних термичких отпора за канални и бесканални начин полагања топловода

При термичком прорачуну топлотних мрежа, обично треба одредити топлотни флукс кроз слојеве и кроз површине цилиндричног облика. Специфични топлотни губици (q) и термички отпор (R) односе се на јединицу дужине топловода. У изолованом топловоду, топлота пролази кроз следеће редно спојене отпоре: унутрашњу површину цеви, зид, цеви, слој изолације, спољашњу површину изолације и тло, тј. [4]:

$$\sum R = R_{\alpha u} + R_{zcc} + R_{iz} + R_{tl} + R_{\alpha s} \quad (6)$$

Према томе, у термичком прорачуну срећу се два облика термичких отпора: отпор површине, у овом случају $R_{\alpha u}$, $R_{\alpha s}$, и отпор слоја, у овом случају: R_{zc} , R_{iz} , R_{tl} , при чему је отпор пролазу топлоте са површине (на површину) цеви:

$$R_{\alpha} = 1 / \pi d \alpha \quad (7)$$

отпор пролазу топлоте кроз кружни зид цеви:

$$R_{zci} = \left(1/2\pi\lambda_{zc}\right) \ln \left(d_{i+1} / d_i\right) \quad (8)$$

У случају бесканалног и каналног полагања двоцевног вода (слика 1), укупни топлотни отпор је [4]:

$$R_{uk}^{bk} = R_{\alpha u} + R_{iz} + R_{tl}^{bk} + R_{zc} \quad (9)$$

$$R_{uk}^{ka} = R_{\alpha u} + R_{zc} + R_{iz} + R_{\alpha 2} + R_{\alpha 3} + R_{zk} + R_{tl}^{ka} \quad (10)$$

при чему су:

$$R_{\alpha u} = 1/\pi d_u \alpha_u \quad R_{zc} = \left(1/2\pi\lambda_{zc}\right) \ln \left(d_s / d_u\right);$$

$$R_{iz} = \left(1/2\pi\lambda_{iz}\right) \ln \left(d_{iz} / d_s\right)$$

$$R_{\alpha 2} = 1/d_{iz} \alpha_2; \quad R_{\alpha 3} = 1/\pi d_{ek} \alpha_3;$$

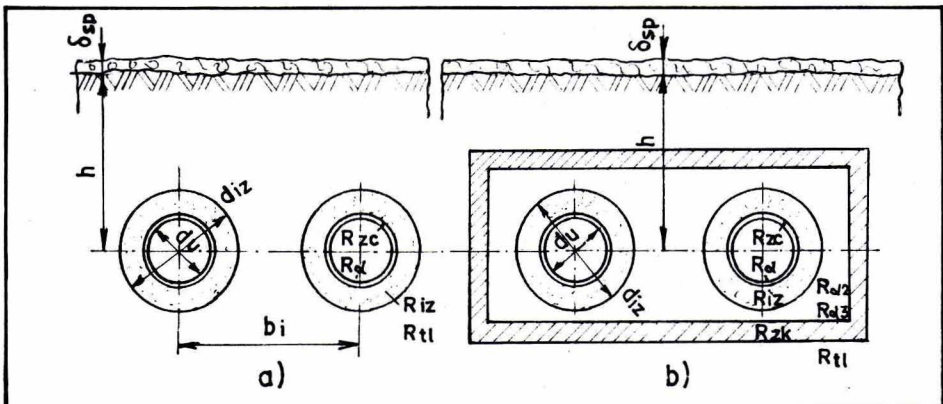
$$R_{zk} = \left(1/2\pi\lambda_{zk}\right) \ln \left(d_{ek,s}^{zk} / d_{ek,u}^{zk}\right)$$

$$R_{tl}^{kb} = \left(1/2\pi\lambda_{tl}\right) \ln \left(1 + (2h/b)^2\right)^{0,5};$$

$$b = d_{iz}^r / 2 + d_{iz}^p / 2 + b_i$$

$$R_{tl}^{ka} = \left(1/2\pi\lambda_{tl}\right) \left[\ln 2h / d_{ek} + \left(4h^2 / d_{ek}^2 - 1\right)^{0,5} \right] \quad (11)$$

При малим дубинама укопавања подземног топловода ($h/d < 2$), температура површине тла изнад топловода може се знатно разликовати од природне температуре површине тла. Да би се избегле грешке, прорачун топлотних губитака изводи се са температуром спољашњег ваздуха. У том случају се термички отпор тла одређује не по стварној, већ по редукованој дубини укопавања осе топловода [1, 2, 4]:



Слика 1. Бесканално (а) и у канал положен шойловод (б)

$$h_r = h + h_f \quad (12)$$

Фиктивни слој, $h_f = \lambda_{tl}/\alpha_s$, има отпор једнак отпору површине. Ако имамо топлотни отпор снежног покривача, онда је редукована дубина укопавања једнака изразу:

$$h_r = h + \lambda_{tl} \left(1/\alpha_s + \delta_{sp}/\lambda_{sp} \right) \quad (13)$$

4. Усвајање основних термичких величина, израчунавање коефицијента акумулације топлоте и време расхлађивања топлотне мреже

Вредност коефицијента прелаза топлоте (α_u) одређује се из услова измене топлоте са околном средином. У топловодном грејању струјање воде је увек турбулентно, па је зато отпор одавању топлоте од носиоца топлоте ка зиду цеви незнатан. Зато се при прорачуну топловода величина $R_{\alpha u}$ може занемарити. Температура унутрашње површине цевовода једнака је температури воде [4].

Коефицијент прелаза топлоте од спољашње површине изолације са околном средином (α_2) и од ваздуха на зид канала (α_3) непромењен је и може се сматрати да има вредности $\alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_{\text{кан}} = 10\text{--}12 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ [4].

Коефицијент топлотне проводљивости зида канала, који је обично од армираног бетона, налази се у границама $\lambda_{\text{кан}} = 0,8\text{--}1,5 \text{ (W/mK)}$ [4].

Коефицијент топлотне проводљивости тла (λ_{iz}) зависи углавном од влажности и температуре. За суву земљу вредности су: $\lambda_{iz} = 0,85\text{--}2,3 \text{ (W/mK)}$. За влажну земљу вредности су: $\lambda_{iz} = 1,75\text{--}3,5 \text{ (W/mK)}$ [1, 4, 5].

Коефицијент топлотне проводности изолације (λ_{iz}) зависи од врсте изолације. За бесканални систем користе се предизоловане цеви са твр-дим полиуретаном са $\lambda_{iz} = 0,03 \text{ (W/mK)}$. За канални систем користи се, обично, минерална вуна са $\lambda_{iz} = 0,041\text{--}0,048 \text{ (W/mK)}$ [5].

За анализу ћемо усвојити канални и бесканални начин транспорта топлоте, систем $110/70^\circ\text{C}$ и $150/70^\circ\text{C}$, положене у суву и влажну земљу, са снежним покривачем и без њега. Коефицијент топлоте проводности набијеног снега је $\lambda_{sp} = 0,35\text{--}0,46 \approx 0,40 \text{ (W/mK)}$ [2, 5].

Коефицијент прелаза топлоте од спољњег ваздуха на површину земље, када немамо снежни покривач је $\alpha_{sp} = 20 \text{ (W/m}^2\text{K)}$, а када имамо снежни покривач, исти је $\alpha_{sp} = 10 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ [3]. За анализу ћемо усвојити да је дебљина снежног покривача 100 односно 300 mm.

На основу аналитичких испитивања сачињен је дијаграмски приказ (слика 2) зависности акумулационе способности топловода (β_{IV}), за канални и бесканални начин полагања топловода, за суву и влажну земљу, са снежним покривачем и без њега, за системе $110/70^\circ\text{C}$ и $150/70^\circ\text{C}$.

Најмању величину коефицијента акумулације (β_{IV}) имају топловоди мањих пречника. На основу резултата анализе (слика 2), можемо рећи следеће:

- утицај влажности тла за канално положен топловод и при постојању снежног покривача, незнатан је на величини β_{IV} ;
- најмању акумулациону способност имају топловоди положени у влажну земљу без снежног покривача;
- канално положен топловод у суву земљу без снежног покривача омогућава повећање акумулационе способности, у поређењу са полагањем у влажно тло, за око 3,3% – 5,5%, а уз присуство снежног покривача, акумулациона способност

система се повећава за око 2% – 4,5%, независно од услова полагања;

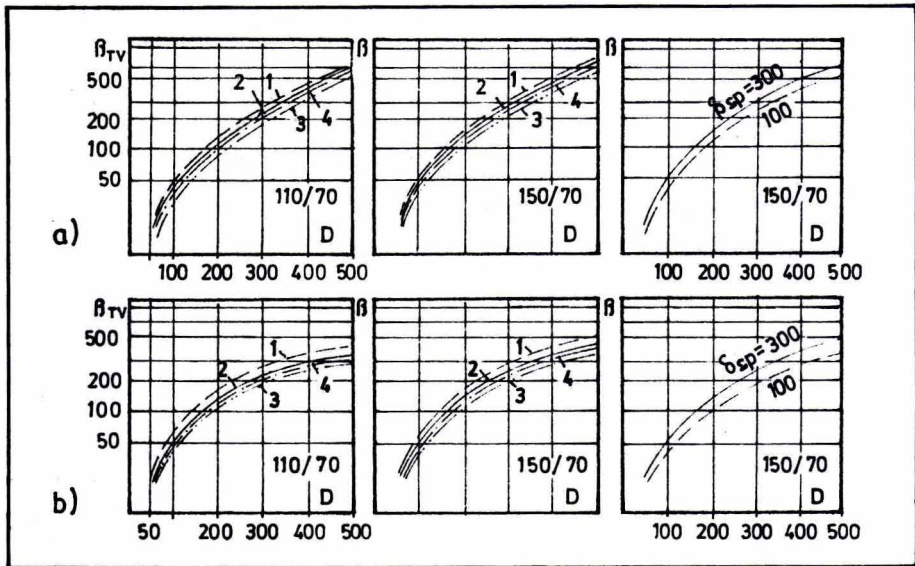
– акумулациона способност система 150/70°C у односу на систем 110/70°C повећава се за око 6–10%, независно од услова полагања;

– при бесканалном положеном топловоду у влажно тло, најмања акумулациона способност топловода је у одсуству снежног покривача;

– повећање β_{IV} за бесканално положен топловод у суву земљу при постојању снежног покривача неравномерно је и зависи од пречника топловода;

– са повећањем дебљине снежног покривача, од 100 на 300 mm, акумулациона способност β_{IV} се повећава за око 1–3%, у зависности од услова полагања топловода (слика 2);

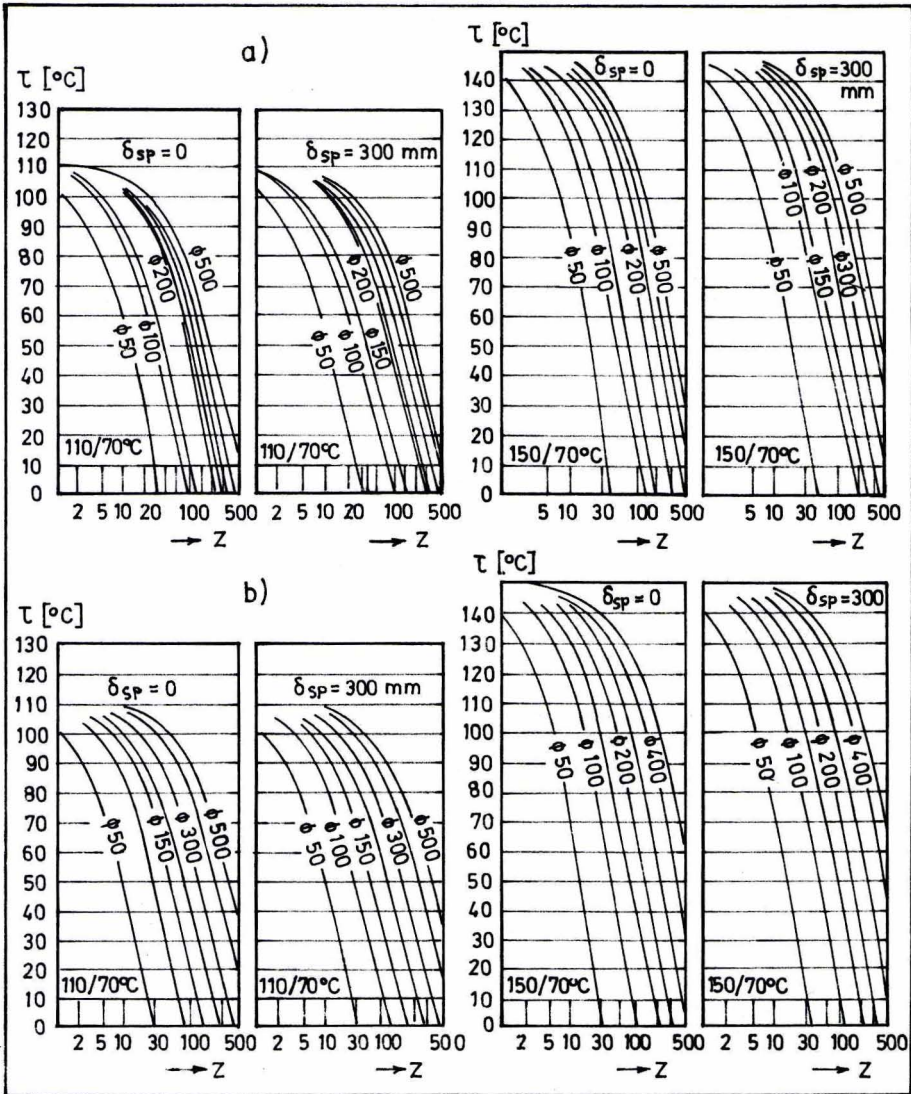
– акумулациона способност каналног система је већа за 17%–50% од акумулационе способности бесканалног система, у зависности од услова полагања.



Слика 2. Зависности акумулационе моћи шойлојне мреже од услова и начина полагања; а) положен у канал; б) бесканално положен; 1 – сува земља без снежног покривача, 2 – сува земља са снежним покривачем, 3 – влажна земља без снежног покривача, 4 – влажна земља са снежним покривачем; $dSP = 300$ mm

Основни елементи савремених система снабдевања топлотом су: потрошач, топлотна мрежа и извор топлоте и они треба да имају одговарајуће параметре своје сигурности. На основу [3], акумулациона способност објекта потрошача, а самим тим и топлотне мреже, треба да буде не мања од $\beta_{IV} = 40\text{--}50$ h. Топловоди пречника од 50 до 100 mm при каналном и бесканалном полагању имају коефицијент акумулације $\beta_{IV} < 40$ h. Такви топловоди спадају у зону смањене сигурности рада.

На основу резултата прорачуна (слика 3), направљен је дијаграм зависности времена хлађења носиоца топлоте (Z) у хаварији топлотне мреже, у зависности од пречника и система за канални и бесканални положен топловод у влажно тле, са снежним покривачем и без њега. У другим условима и начинима полагања, величина Z имаће већу вредност. При смањењу температуре носиоца топлоте и повишењу температуре средине, у истим условима, коефицијент акумулације и време хлађења Z се повећавају. Смањење времена хлађења Z може настати при сма-



Слика 3. Време хлађења шпојлојне мреже у режиму хаварије у зависности од начина полагања; а) бесканални, б) канални (шпојлојна мрежа је положена у влажну земљу)

њењу спољне температуре t_0 , када се параметри носиоца топлоте смањују због повећања топлотног оптерећења. Нарочита опасност је на топоводу пречника 50 до 100 mm, положеног бесканално.

5. Закључак

Подаци на слици 2 приказују промене коефицијента акумулације у зависности од пречника топовода и начина и услова полагања топлотне мреже. Помоћу дија-

грама приказаних на слици 3 може се одредити оптимално време одстрањивања хаварије при потпуном искључењу топлотне мреже за разматране видове изолације, на чин и услове полагања топловода.

За Z које има већу вредност времена хлађења од оне приказане на слици 3, у топловоду пречника 50 до 100 mm при бесканалном полагању могуће је одмрзавање система.

Ознаке

b	– растојање између разводног и повратног вода, m
d_s	– спољни пречник цевовода, mm
d_u	– унутрашњи пречник цевовода, mm
d_{iz}	– спољни пречник изолације топловода, mm
d_{ek}	– еквивалентни пречник канала у каналном систему, mm
c_{te}, c_{zc}	– специфична топлота носиоца топлоте односно зида цевовода, KJ/kg $^{\circ}$ C
h	– дубина полагања од осе топловода до површине земље, mm
h_f	– редукована дубина укопавања осе топловода, m
R_i	– термички отпор i -те површине или слоја, mK/W
ΣR	– укупни термички отпор слоја зида цеви, изолације, зида канала, тла и површине земље, mK/W
t_o	– температура околне средине, $^{\circ}$ C
t_u	– унутрашња температура која се успоставља у просторији у року Z , s или h , после нарушавања нормалног топлотног режима, $^{\circ}$ C
t_u	– унутрашња температура, која је била у просторији у моменту нормалног топлотног режима, $^{\circ}$ C
t_s	– средња температура спољашњег ваздуха за период нарушења, односно за Z , s или h
Q_o	– довод топлоте у просторију, W
q_o	– специфични топлотни губици објекта, W/m 3 K
v_{te}, v_{zs}	– специфична запремина течности и зида цевовода на 1 m дужине, m 3 /m
V	– запремина објекта према спољашним димензијама, m 3
Z	– време трајања прекида циркулације, h
α_2	– коефицијент прелаза топлоте од површине изолације на околни ваздух (у каналном систему), W/m 2 K
α_3	– коефицијент прелаза топлоте од околног ваздуха на зид канала, W/m 2 K
δ_{sp}	– дебљина снежног покривача, mm
λ_i	– коефицијент провођења топлоте тла (tl), зида канала (zk), изолације (iz), зида цеви (zc), снежног покривача (sp), W/mK
t_{nt}^p	– температура носиоца топлоте у пројектованом режиму, $^{\circ}$ C
β_{tv}	– коефицијент акумулације топловода, h.

Литература

- [1] Соколов, Е. Ј.: *Топлификација и шейловје сејши*, Москва, Енергоиздат, 1982, стр. 360.
- [2] Кутателадзе, С. С.: *Основи теорије шейлообмена*, Наука, Новосибирск, 1970, стр. 658.
- [3] Ионин, А. А.: *Тейлоснабжение*, М. Стројиздат, Москва, 1982.
- [4] Громов, Н. К., Е. П., Шубин: *Водјание шейловие сејши*, Енергоатомиздат, Москва, 1988, стр. 376.
- [5] Рекнагел-Шпренгел-Хенман: *Грејање и климатизација*, ИРО Грађевинска књига, Београд, 1987.