

1 Csőhálózatok hőveszteségének számítása

1.1 Talajba fektetett előszigetelt csővezetékek

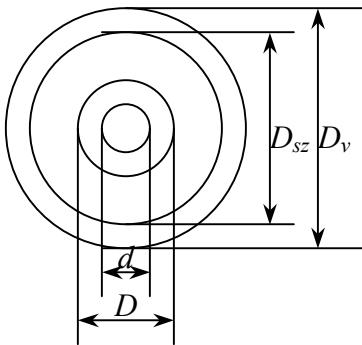
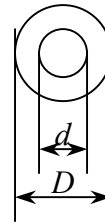
Egy rendszer esetében az üzemeltetési paraméterek adottak: előremenő és visszatérő hőmérséklet, felhasználók hőigénye, átlagos éves léghőmérséklet stb. A talajba fektetett csővezetékeket pedig csak bizonyos szabályok betartásával szabad elhelyezni annak érdekében, hogy az üzemeltetés során a csőben ne lépjenek fel túlságosan nagy feszültségek. A talaj fizikai tulajdonságait az összetétele és szerkezete alapján határozzák meg. A talaj hővezetési tényezőjének átlagos értéke $\lambda_f = 1,6 \text{ W/mK}$. Egy számítás során megállapítható, hogy a talaj hőátbocsátási ellenállása az összes ellenállásnak 5...20%-a.

1.1.1 Általános számítási összefüggések

Egy csővezeték hővezetési ellenállása:

$$R = \frac{1}{2\pi\lambda_{cs\ddot{o}}} \ln \frac{D}{d} \quad (1)$$

ahol: d – a csővezeték belső átmérője;
 D – a csővezeték külső átmérője;
 $\lambda_{cs\ddot{o}}$ – a cső anyagának hővezetési tényezője.



Több rétegű cső esetén az összes hővezetési ellenállás az egyes ellenállások összege:

$$R_{cs\ddot{o}} = R + R_{sz} + R_v \quad (2)$$

ahol: R – a cső hővezetési ellenállása; R_{sz} – a hőszigetelő réteg hővezetési ellenállása; R_v – a védőréteg hővezetési ellenállása.

A csővezeték összes hőátbocsátási ellenállása:

$$R_{\delta} = \frac{1}{\pi d \alpha_i} + \frac{1}{2\pi\lambda_{cs\ddot{o}}} \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{2\pi\lambda_{sz}} \ln \frac{D_{sz}}{D} + \frac{1}{2\pi\lambda_v} \ln \frac{D_v}{D_{sz}} \quad (3)$$

ahol: α_i – a hőátadási tényező az áramló közeg és a csővezeték belső felülete között; D_{sz} – a hőszigetelő réteg átmérője; D_v – a védőréteg átmérője.

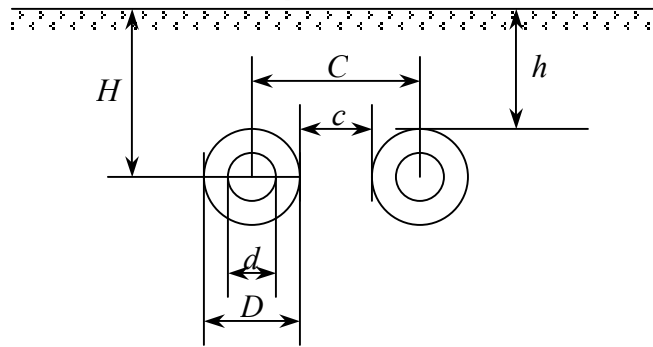
A gyakorlatban az α_i értéke olyan nagy, hogy a hőátadási ellenállás a számítások során elhanyagolható. Vagyis:

$$R_{\delta} = R_{cs\ddot{o}} \quad (4)$$

A földtakaró hőátbocsátási ellenállása:

$$R_f = \frac{1}{2\pi\lambda_f} a \cosh \left[\frac{2}{D} (H + \alpha\lambda_f) \right] \quad (5)$$

1.1.2 Talajba fektetett csővezetékpár



$$H = h + \frac{D}{2}$$

$$C = c + D$$

ahol: λ_f – a talaj hővezetési tényezője; D – a külső átmérő; H – a talajszint és a vezeték középpontja közötti szintkülönbség; α - ekvivalens hőátbocsátási ellenállás ($=0,0685 \text{ m}^2\text{K/W}$).

Hőellenállás az egymásra hatásból:

$$R_{1,2} = \frac{1}{4\pi\lambda_f} \ln \left[1 + \frac{(2H)^2}{C^2} \right] \quad (6)$$

Egy csővezeték esetében a hővesztés:

$$q_{cső} = \frac{T_f - T_a}{R_{cső} + R_f} \quad (7)$$

ahol: T_f – a csőben áramló közeg hőmérséklete; T_a – átlagos levegő hőmérséklet.

Csővezeték pár esetében külön kell vizsgálni az előremenő és visszatérő vezeték.

$$q_f = \frac{(T_f - T_a)(R_{f,r} + R_{cső,r}) - (T_r - T_a)R_{1,2}}{(R_{f,r} + R_{cső,r})(R_{f,f} + R_{cső,f}) - R_{1,2}^2} \quad (8)$$

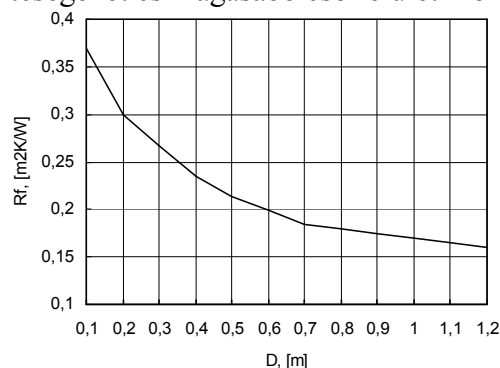
$$q_r = \frac{(T_r - T_a)(R_{f,f} + R_{cső,f}) - (T_f - T_a)R_{1,2}}{(R_{f,r} + R_{cső,r})(R_{f,f} + R_{cső,f}) - R_{1,2}^2} \quad (9)$$

A csőpár által összesen leadott fajlagos hőmennyiség:

$$q_{tot} = q_f + q_r \quad (10)$$

1.1.2.1 A talaj ellenállása

Az alábbi ábrában a talaj ellenállását ábrázoltuk átlagos nedvességű talajra vonatkozóan, $\lambda_f = 1,6 \text{ W/mK}$ hővezetési tényezőt és $h=0,8 \text{ m}$ takarási magasságot véve figyelembe. Egy magas R_f érték alacsonyabb hővesztéseket és magasabb cső felületi hőmérsékletet eredményez.



1.1.2.2 Ikercsövek hőveszteségeinek számítása

Az ikercsövek hőveszteségeinek számítása összetettebb az előzőekben bemutatott módszereknél. A következő módszer azokat az „elsőfokú multipoláris” összefüggéseket használja, amelyeket részletesen bemutat a [9] szakirodalom. A módszer csak két ellenállást vesz figyelembe: a hőszigetelő réteg ellenállását és a talajét. Az acélcsövek és a védőcső hatását elhanyagolja a módszer, mivel a gyakorlatban alkalmazott csőméreteknél ezen rétegek ellenállása igen alacsony. A módszer alkalmazásával kapott eredményeket összehasonlították a véges elem módszerrel kapott eredményekkel. Az eltérések 1...1,5% között mozogtak, amikor az összes hőveszteséget vagy csak az előremenő csővezetékét vették figyelembe. A visszatérő csővezeték esetében az eltérések nagyobbak voltak, de ezeknek negatív hatása a végeredményre szinte elhanyagolható, mivel a visszatérő vezetékre vonatkozóan már eleve alacsonyabbak a hőveszteségek. A számításoknál tehát a következő összefüggések alkalmazhatók:

$$q_{i\text{ker},f} = q_{sy} + q_{asy} \quad (11)$$

$$q_{i\text{ker},r} = q_{sy} - q_{asy}$$

ahol: $q_{i\text{ker},f}$ – hőveszteségek az iker csővezetékpar előremenő ágán; $q_{i\text{ker},r}$ – hőveszteségek az iker csővezetékpar visszatérő ágán; q_{sy} – hőveszteségek a szimmetriát figyelembe véve; q_{asy} – hőveszteségek az antiszimmetriát figyelembe véve.

$$q_{sy} = (T_{sy} - T_a) \frac{2\pi\lambda_{sz}}{g_{sy}} \quad (12)$$

$$q_{asy} = T_{asy} \frac{2\pi\lambda_{sz}}{g_{asy}} \quad (13)$$

$$T_{sy} = \frac{T_f + T_r}{2} \quad T_{asy} = \frac{T_f - T_r}{2} \quad (14)$$

$$\sigma = \frac{\lambda_{sz} - \lambda_f}{\lambda_{sz} + \lambda_f} \quad \gamma = \frac{2(1 - \sigma^2)}{1 - \sigma \left(\frac{D_{sz}}{4H} \right)^2} \quad (15)$$

$$g_{sy} = \frac{2\lambda_{sz}}{\lambda_f} \ln \frac{4H}{D_{sz}} + \ln \frac{D_{sz}^2}{2CD} + \sigma \ln \frac{D_{sz}^4}{D_{sz}^4 - C^4} - \frac{\left(\frac{D}{2C} - \frac{2\sigma DC^3}{D_{sz}^4 - C^4} \right)}{1 + \left(\frac{D}{2C} \right)^2 + \sigma \frac{2DD_{sz}^2C}{D_{sz}^4 - C^4}} \quad (16)$$

$$g_{asy} = \ln \frac{2C}{D} + \sigma \ln \frac{D_{sz}^2 + C^2}{D_{sz}^2 - C^2} - \frac{\left(\frac{D}{2C} - \gamma \frac{CD}{16H^2} + \frac{2\sigma DD_{sz}^2C}{D_{sz}^4 - C^4} \right)^2}{1 - \left(\frac{D}{2C} \right)^2 - \gamma \frac{D}{4H} + 2\sigma D^2 D_{sz}^2 \frac{D_{sz}^4 + C^4}{(D_{sz}^4 - C^4)^2}} - \gamma \left(\frac{C}{4H} \right)^2 \quad (17)$$

1.2 Szabadban szerelt csővezetékek

A szabad vezeték esetében a cső a palástfelületén hőt ad le a környező levegőnek, amennyiben a környezeti t_e hőmérsékletnél magasabb hőmérsékletű közeg szállítására szolgál. A vezeték hőveszteségét a köpeny és a környező levegő közötti α_e hőátadási tényező is befolyásolja. A közeg és a környezete közötti hőtranszport számításánál a következő összes hőátbocsátási ellenállással kell számolni:

$$R_{\text{össz}} = R_{\text{cső}} + \frac{1}{\alpha_e D_e} \quad (18)$$

Mint látható ebben az esetben a hőszigetelt csővezeték védőköpenyének külső átmérőjétől is függ a leadott hőmennyiség. A külső oldali hőátadási tényező a légáramlás sebességétől függő érték. A fajlagos hőveszteség:

$$q_{\text{sz}} = \frac{T_f - T_e}{R_{\text{össz}}} \quad (19)$$

1.3 Közműalagútban szerelt csővezetékek

Tulajdonképpen a számítási módszer azonos az előbbi esettel, de az alagút nyugvó levegője miatt, az α_e hőátadási tényező értéke 8...10 W/m²K közötti érték. A légtér hőmérséklete a külső levegő hőmérsékletnél magasabb (t_e ...+15 °C közötti érték, a közműalagút kivitelezési módjától függően).

1.4 Védőcsatornában szerelt csővezetékek

A védőcsatorna kisebb légtere a hőveszteség alakulására számottevő befolyással van. A vezeték által leadott hő a csatorna számára hőforrás, a mely a talaj hőellenállása útján transzportálódik a talaj távolabbi részébe, illetve a földfelszínre.

A hőveszteség számításának alapja a csatorna hőmérlege. A gyakoribb kétvezetékes rendszert véve alapul, a hőmérleg:

$$q_1 + q_2 = q_f \quad (20)$$

ahol:

$$q_1 = \frac{t_f - t_{cs}}{R_1} \quad \text{az előremenő vezeték által leadott fajlagos hőmennyiség} \quad (21)$$

$$q_2 = \frac{t_r - t_{cs}}{R_2} \quad \text{a visszatérő vezeték által leadott hőmennyiség} \quad (22)$$

A csatorna által leadott hőmennyiség:

$$q_f = \frac{t_{cs} - t_e}{R_f} \quad (23)$$

Az R_1 és R_2 számításánál figyelembe kell venni a külső oldali hőátadási ellenállást. Az α_e hőátadási tényező értéke 6...8 W/m²K közötti érték.

A (21), (22) és (23) összefüggésekből:

$$t_{cs} = \frac{R_2 R_f t_f + R_1 R_f t_r + R_1 R_2 t_e}{R_1 R_2 + R_1 R_f + R_2 R_f} \quad (24)$$

A (24) összefüggéssel számítható a hőmérséklet a csatornában, majd behelyettesítve a (21) és (22) összefüggésekbe meghatározható az előremenő és a visszatérő csővezeték fajlagos hővesztesége.

Ha csatornában csak egy csővezeték található, akkor a csatorna hőmérséklete:

$$t_{cs} = \frac{t_f R_f + t_e R_1}{R_1 + R_f} \quad (25)$$

1.5 Szakirodalom

- [1] Büki G.: Energetika, Műegyetemi kiadó 1997. Bp.
- [2] Dr. Lipták A.: Mérés, szabályozás és vezérlés az épületgépészetben, Műszaki könyvkiadó 1983.
- [3] Recknagel.: Fűtés és klimatechnika 2000 I-II kötet. Dialog Campus Kiadó Bp. 2000.
- [4] Alstom Power FlowSystems A/S Design Manual (2003), Electronic Version, Denmark
- [5] MSZ 04.140/4-78 Épületek és Épületszerkezetek hőtechnikai számításai. Hűtési hőterhelés számítás.
- [6] TNM rendelet az épületenergetikai követelményekről, az energiatanusítványról és a légkondicionáló rendszerek időszakos felülvizsgálatáról – 1 Melléklet, Számítási módszerek 2006.
- [7] TNM rendelet az épületenergetikai követelményekről, az energiatanusítványról és a légkondicionáló rendszerek időszakos felülvizsgálatáról – 2 Melléklet, Tervezési adatok 2006.
- [8] Dezső Gy. (szerk.) Korszerű hőszállító vezetékek, D-ISOLAR.
- [9] P. Wallenten: Steady state heat loss from insulated Pipes, Lund Institut of Technology, Sweden 1991.
- [10] DE MFK Épületgépészeti Tanszék: Debrecen városi távhőellátó rendszeréről történő hűtési energiaellátás műszaki feltételeinek, és a megvalósítás hatásának vizsgálata. K+F tanulmány, 2005