



Jarðvegshitun. Mælingar á rennsli og
hitastigi í kálgarði að Hvammi við Flúðir

Jón Steinar Guðmundsson

Greinargerð JSG-1979

Jarðvegshitun: Mælingar á rennsli og hitastigi
í kálgarði að Hvammi við Flúðir.

Þann 21. sept. s.l. voru gerðar mælingar á rennsli og hitastigi heita vatnsins, sem er notað við jarðvegshitun í einum af kálgörðum Jóhannesar Helgasonar að Hvammi II í Hrunamannahreppi. Kálgarðurinn er 282 m langur og 24 m breiður, nema hvað á 47 m löngum kafla er breiddin aðeins 16 m. Flatarmál kálgarðsins reiknast 6392 m².

Kálgarðurinn er hitaður með sex 1 1/4" plaströrum sem liggja fram og til baka eftir garðinum endilöngum. Heiti (fram) og kaldi (til baka) leggur hvers rörs eru samsíða þannig að hitadreifingin er eins jöfn og á verður kosið. Rörin eru á 80 cm dýpi og var ýtuþlógur notaður við lögnina. Á milli plaströranna eru 2 m og eru ystu rörin 1 m frá garðbrúninni. Þessi plaströr voru lögð í garðinn fyrir þremur árum og hafa engin vandræði verið með þau fram til þessa. Reyndar er vatnið ekki undir miklum þrýstingi, væntanlega 1/4 bar í mesta lagi.

Heita vatnið kemur frá tveimur hverum í næsta nágrenni. Frá Básahver er tekið 89°C vatn í 1 1/4" leiðslu fyrir rör nr. 1 og 2. Frá Vilborgarhver er tekið 93°C vatn í 2" plaströri sem síðan greinist á milli röra 3, 4, 5 og 6. Sjálfrennsli er frá hverunum í jarðvegshitunina. Frárennsli hvers rörs er sjálfstætt og því auðvelt að mæla vatnsrennslið og hitastigið. Í eftirfarandi útreikningum er reiknað með hverfandi hitatapi frá hverunum að kálgarðinum, en vegalengdin er væntanlega 25-30 m. Útihitastigið þegar mælingarnar voru gerðar mældist 7°C. Veðurfar var gott; þurrt og stillt. Það hefur verið tekið eftir því að heita vatnið kólnar meira í rigningaveðri. Jóhannes Helgason lýsti jarðveginum sem frekar grófri ármöl.

Út frá mælingum á rennsli og hitastigi má reikna út ýmsar stærðir sem skipta máli. Meðfylgjandi tafla sýnir þær mælingar sem voru gerðar og nokkrar útreiknaðar stærðir. Rétt er að gera nokkra grein fyrir þessum útreikningum. Varmatap frá rörum í jarðvegi má reikna út frá jöfnunni:

$$q = kS\Delta T \quad (1)$$

þar sem q (W/m) er varmatapið per m af röri, k (W/m°C) er varmaleiðni jarðvegsins og ΔT (°C) er mismunahitastigið á milli heita rörsins og lofthitastigs við jörðu. Til að finna mismunahitastigið ΔT var hitastig rörsins tekið sem meðaltalshitastig heita vatnsins:

$$\bar{T} = \frac{T_i + T_u}{2} \quad (2)$$

og

$$\Delta T = \bar{T} - T_a \quad (3)$$

þar sem útihitastigið T_a mældist 7°C.

Aflþörfin í hverju röri var reiknuð út frá rennslinu ásamt hitastigi vatnsins inn og út skv.:

$$Q = WC_p (T_i - T_u) \quad (4)$$

þar sem W (kg/s) er vatnsrennslið og C_p (kJ/kg) varmagildisstuðull vatns. Varmatapið per m af röri var einfaldlega reiknað skv.:

$$q = \frac{Q}{l} \quad (5)$$

Þar sem um mikla kólnun er að ræða í plaströrunum umfram kólnun í einangruðum hitaveiturörum, þykir rétt að taka tillit til þeirra áhrifa sem dýpt röranna hefur á kólnunina. Það skal tekið fram, að aðferðin byggir á því að rörin hafi óveruleg kólnunaráhrif á hvert annað. Til að byrja með verður því að skoða útreikningana, sem fyrstu tilraun til að færa mæliniðurstöðurnar í varanlegan búning.

Fyrir óendanlega langt rör að þvermáli d á dýpi x er stuðullinn S gefinn sem:

$$S = \frac{2\pi}{\cosh^{-1} \left(\frac{2x}{d} \right)} \quad (6)$$

þar sem hornafallið $\cosh^{-1} (2x/d)$ tekur tillit til dýptaráhrifanna. Meðfylgjandi mynd sýnir hvernig ofangreind jafna breytist með dýpi fyrir 1/2", 1" og 2" rör. Fyrir 1 1/4" plaströrin í kálgarðinum að Hvammi reiknaðist $S = 1,363$ og var sú tala notuð við útreikningana á varmaleiðni jarðvegsins:

$$k = \frac{q}{S\Delta T} \quad (7)$$

sem sýndir eru í töflunni. Þar má sjá að gildin á k spanna frá 0,568 W/m°C til 0,705 W/m°C. Meðaltalsgildið reiknaðist 0,641 W/m°C og staðalfrávikioð 0,0443 W/m°C, eða um 7% af meðaltalinu, sem verður að teljast góð nákvæmni. Þessi gildi eru nálægt því sem gjarnan er gefið upp fyrir jarðveg af ýmsu tagi. Vitað er að raki í jarðvegi hefur mikil áhrif á varmaleiðnina. Þegar rakinn eykst þá eykst jafnframt varmaleiðnin. Til fróðleiks má bera saman varmaleiðni eimaðs vatns og þeirra gilda sem reiknast fyrir kálgarðinn að Hvammi. Þetta er gert á meðfylgjandi mynd þar sem jarðvegsgildunum er raðað skv. meðaltalshitastigi heita vatnsins \bar{T} úr töflunni. Myndin sýnir greinilega að varmaleiðni jarðvegsins er svipuð og varmaleiðni eimaðs vatns. Um gildi þessa samanburðar skal ekki meira sagt að svo komnu máli.

Mælingarnar sýna að samanlagt rennsli heita vatnsins var 0,7 l/s eða 42 l/mín. Samanlögð aflþörf var 160,7 kW sem umreiknast í 25,1 kW/m² fyrir kálgarðinn. Að öllu jöfnu á aflþörfin að vera í beinu hlutfalli við útihitastigið. Í kaldara veðri en 7°C er aflþörfin því meiri. Það athugist að væta jarðvegsins (t.d. eftir rigningu) ræður miklu um kólnunina. Að svo komnu máli er hinsvegar ekki vitað hvað rigningin hefur mikil áhrif. Sem fyrstu ágiskun má reikna með að hitastig jarðvegsins aukist línulega (jafnt) með dýpi. Sé miðað við meðaltalshitastigið \bar{T} ætti hitastigið á 15 cm dýpi við rör nr. 6 að vera um 18°C. Við rör nr. 1 ætti hitastigið á 15 cm dýpi hinsvegar að vera um 16°C. Þessum hitastigsgildum verður að taka með varúð þar sem mikillar einföldunar gætir í útreikningunum. Hægt er að sýna með dæmum hvernig má nota ofangreindar jöfnur til að reikna hitastig og rennsli í jarðvegshitun. T.d. er hægt að reikna hitastig út T_u (frárennslishitastig) ef hitastig inn T_i , útihitastig T_a (andrúmsloft) og vatnsrennslið W eru þekkt ásamt

lengd rörsins l . Auk þess þarf að vita þvermál d rörsins og dýpi þessi í jarðveginum x til að reikna út leiðréttingarstuðulinn S . Sem dæmi má nota eftirfarandi gildi til að reikna út nauðsynlegt vatnsrennsli:

$$\begin{aligned} T_i &= 95^\circ\text{C} \\ T_u &= 35^\circ\text{C} \\ T_a &= 7^\circ\text{C} \\ l &= 500 \text{ m} \\ d &= 1'' \\ x &= 80 \text{ cm} \end{aligned}$$

Af þessum tölum má sjá að meðaltalshitastigið $\bar{T} = 65^\circ\text{C}$, mismunahitastigið $\Delta T = 58^\circ\text{C}$ og út frá meðfylgjandi mynd sést að $S = 1,3$. Þá reiknast:

$$\begin{aligned} q &= 0,641 \times 1,3 \times 58 = 48,3 \text{ W/m} \\ Q &= 48,3 \times 500 = 24150 \text{ W} \\ W &= 24,15 / (4,1868 \times (95-35)) = 0,0961 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Það athugist, að Q reiknast fyrst í W en er síðan í kW, og að 0,0961 kg/s eru um 0,0961 l/s, sem jafngilda 5,8 l/mín. Ef útihitastigið T_a væri lægra t.d. 2°C , þá reiknast hinsvegar:

$$\begin{aligned} q &= 0,641 \times 1,3 \times 63 = 52,5 \text{ W/m} \\ Q &= 52,5 \times 500 = 26250 \text{ W} \\ W &= 26,25 / (4,1868 \times (95-35)) = 0,104 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Heitavatnsrennslið sem þarf við 2°C útihita nemur því um 6,2 l/mín. eða um 7% meira en við 7°C útihita. Ath. að $C_p = 4,1868 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

Sem dæmi má reikna hvað frárennslishitastigið T_u ætti að vera við ákveðið vatnsrennsli. Í þessu dæmi er tilvalið að nota tölurnar að ofan og miða við $W = 0,104 \text{ kg/s}$. Hitastigið reiknast með:

$$T_u = \frac{T_i (A - 1/2) + T_a}{(1/2 + A)} \quad (8)$$

þar sem stærðin A inniheldur önnur einkenni kerfisins en hitastigin:

$$A = \frac{WC_p 10^3}{kSl} \quad (9)$$

Það athugist að margfalda þarf með 10^3 í A'inu til þess að einingarnar (W/kW) passi. Fyrir ofangreint dæmi reiknast:

$$A = \frac{0,104 \times 4,1868 \times 10^3}{0,641 \times 1,3 \times 500} = 1,045$$

of jafnframt að:

$$T'_u = \frac{95(1,045 - 0,5) + 2}{(0,5 + 1,045)} = 34,8^\circ\text{C}$$

sem er um 35°C eins og frárennslshitastigið í ofangreindu dæmi.

Hvað varðar bilið á milli röra í jarðvegshitun, má segja að það megi ekki vera lengra en svo, að hitunin verði alls staðar sem jöfnust. Það er líklegt að jöfnust hitadreifing fáiast með því að hafa bilið á milli röranna helmingi lengra en dýpi röranna. T.d. ef rörin eru á 80 cm dýpi, eins og að Hvammi, ætti bilið á milli þeirra að vera $2 \times 80 = 160$ cm. Hvað varðar hentugasta dýpið á rörin, er heldur ekki mikið vitað um. Það er líklegt að 50-100 cm dýpi sé viðeigandi í jarðvegshitun.

Að lokum verður að undirstrika það, að þessi greinargerð fjallar einungis um jarðvegshitunina að Hvammi við Flúðir, og ber því að varast það að yfirfæra niðurstöðurnar á aðra garða með öðrum jarðvegi og við önnur upphitunarskilyrði. Hinsvegar er greinargerðin tilraun til að fella mælingarnar í ákveðinn ramma (jöfnur), sem síðan má prófa við margar aðrar aðstæður og breyta eftir þörfum. Reynslan á eftir að skera úr um það hvort jöfnurnar eru nothæfar við útreikninga á jarðvegshitun.

25.9.79

Jón Steinar Guðmundsson

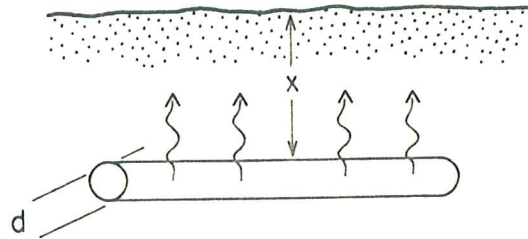
Verkfræðingur

Mælingar og útreikningar á jarðvegshitun að
Hvanni í Hrunamannahreppi.

Rör Nr.	W l/s	T (°C)		T °C	Q kW	l m	q W/m	ΔT °C	k W/m°C
		Inn	Út						
1	0,0667	89	24	56,5	18,1	472	38,3	49,5	0,568
2	0,0909	89	31	60,0	22,1	472	46,8	53,0	0,648
3	0,125	93	38	65,5	28,8	566	50,9	58,5	0,638
4	0,143	93	42	67,5	30,6	566	54,1	60,5	0,656
5	0,120	93	37	65,0	28,2	566	49,8	58,0	0,630
6	0,154	93	42	67,5	32,9	566	58,1	60,5	0,705

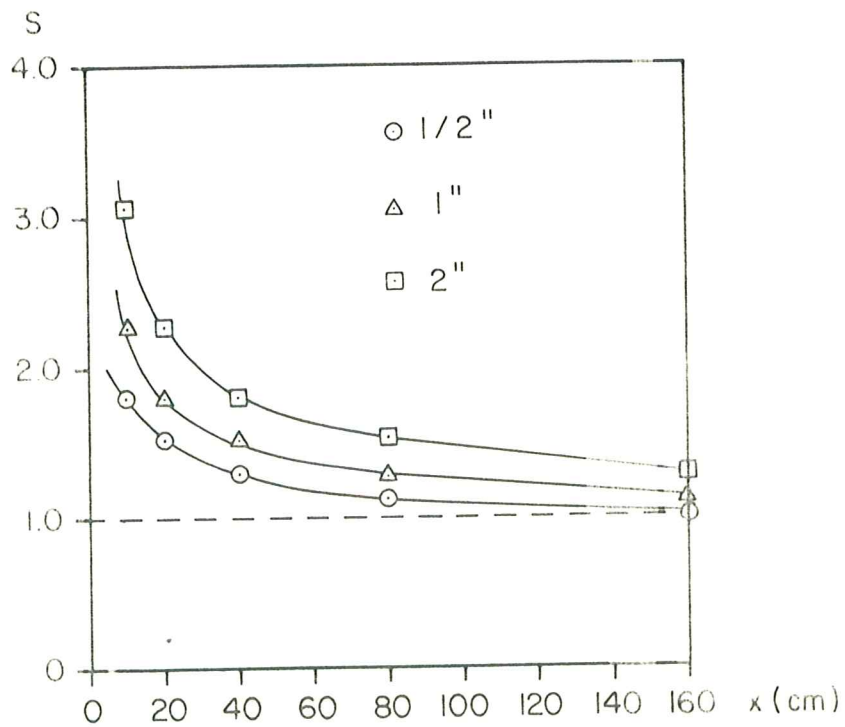


Áhrif dýpis á kólnun heitra röra í jarðvegi

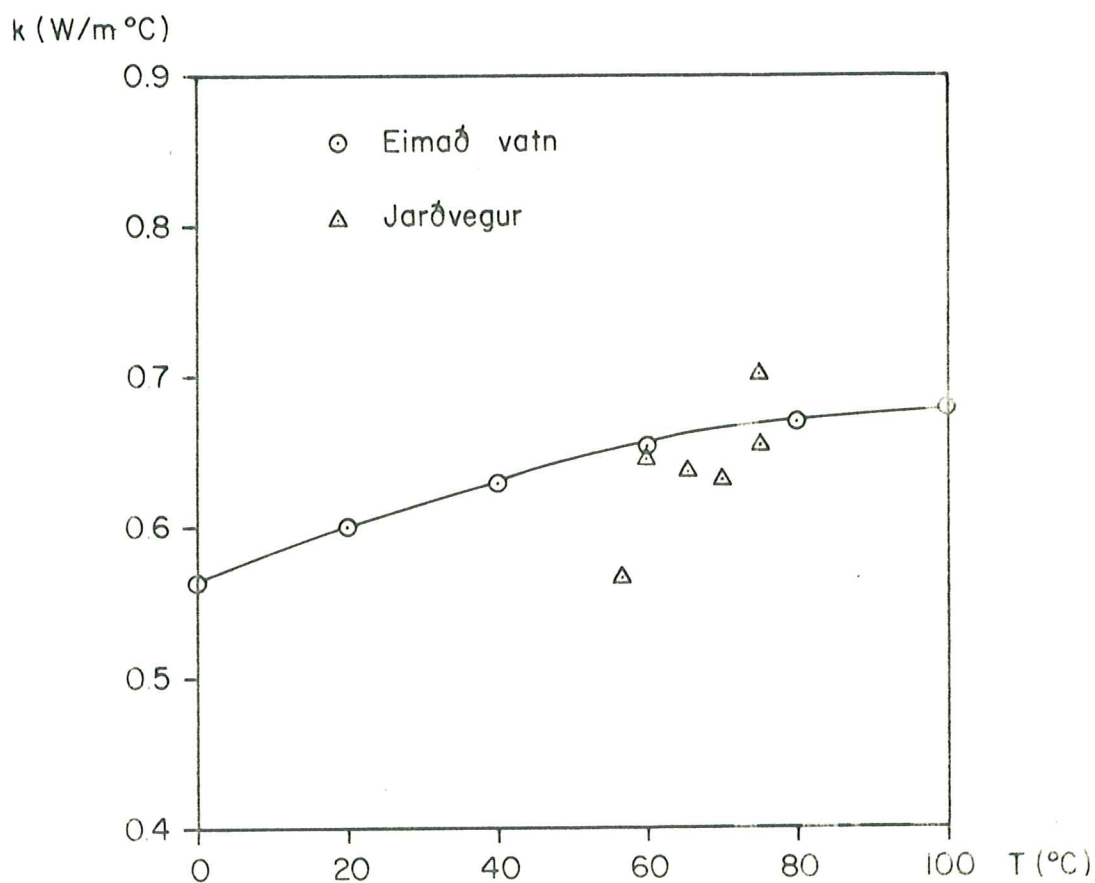


$$S = \frac{2\pi}{\cosh^{-1}\left(\frac{2x}{d}\right)}$$

$$q = k S \Delta T$$



Skv. F. Kreith, "Principles of Heat Transfer", Intex Press Inc., 1973

Varmaleiðni eimaðs vatns og jarðvegs
í kálgarði að Hvammi við Flúðir

Skv. L. Grundberg, " Properties of Sea Water Concentrates," 3rd. Int. Symp. Fresh Water from the Sea, Vol. 1, 31-39, 1970