

KÓLNUN VATNS Í HITAVEITULÖGNUM

Fjarhitun h.f.

Oddur Björnsson

OS80008/JHD04

Reykjavík, apríl 1980

ÁGRIP

Gerð er athugun á varmatapi í einföldum lögnum til flutnings á heitu vatni. Tekin eru dæmi um algengar gerðir slíkra lagna og kólnun vatnsins reiknuð fyrir gefnar aðstæður. Þar sem hér er um einfaldar lagnir að ræða, þ.e. einstakar pípur en ekki tvær eða fleiri í stökk svo dæmi sé tekið, nýtist þessi fróðleikur best í áætlunum um lengri lagnir svo sem um aðveituaðar og dreifikerfi í sveitum.

Reiknað er varmatap í niðurgröfnum einangruðum stál- og plastlögnum og óeinangruðum asbestpípum í torfgarði. Niðurstaða reikninganna er í stórum dráttum sú að varmatap er svipað í niðurgröfnum plast- og stálpípum, en um tvöfalt herra í asbestpípum fyrir sama rennsli. Varmatap í ofanjarðar pípum, einangruðum í hlífðarkápu, er um 25 til 70% herra en í sambærilegum niðurgröfnum stálpípum.

Reynt er að meta kostnað við lagningu heitaveitupípna, og til að einfalda kostnaðarmatið eru kostnaðartölurnar einskorðaðar við lagnir um óbyggt svæði. Kostnaðartölurnar fela í sér efniskostnað (pípa með eða án einangrunar), kostnað við jarðvinnu um óbyggt svæði, vinnukostnað við lagningu pípunnar (samsetning, tengingar o.fl.) og kostnað vegna klappar fyrir niðurgrafnar pípur. Ekki er lagt mat á áreiðanleika kostnaðarmatsins, en ætla má að fá megi allgóða hugmynd um kostnað við lagningu pípna um óbyggt svæði, a.m.k. gefa tölurnar hlutfallslegan kostnað við lagningu aðveituaða úr mismunandi pípuefni. Kostnaðarmatið er miðað við verðlag í október 1979 þegar byggingarvísitala (BVT) var 355 stig.

EFNISYFIRLIT

	Bls.
ÁGRIP	3
EFNISYFIRLIT	5
TÖFLUSKRÁ	6
MYNDASKRÁ	6
TÁKN OG SKAMMSTAFANIR	7
INNGANGUR	9
1 Fræðilegur grunnur	10
1.1 Varmastreymi frá einangruðum rörum	10
1.2 Varmastreymi frá niðurgröfnum rörum	11
2 Pípur ofanjarðar, einangraðar í blikkhlífðarkápu	16
3 Niðurgrafið stálrör með plastkápu einangrað með pólýúretan- einangrun	18
4 Niðurgrafnar plastpípur með 1) steinullareinangrun 2) gler- ullareinangrun	22
5 Pípur í torfgarði	25
5.1 Asbestpípa í torfgarði	27
5.2 Einangruð stálpípa í torfgarði	28
HEIMILDASKRÁ	36
VIÐAUKI: Kostnaður við hitaveitulagnir	37

TÖFLUSKRÁ

	Bls.
1 Kólnun vatns í pípulögn ofanjarðar	17
2 Niðurgrafin stálror með plastkápu einangruð með pólýúretan einangrun	20
3 Kólnun í niðurgröfnum stálörum með úretaneinangrun	21
4 Kólnun í niðurgröfnum plastpípum í steinullareinangrun	23
5 Kólnun í niðurgröfnum plastpípum í glerullareinangrun	24
6 Kólnun vatns í asbestpípu í torfgarði	29

MYNDASKRÁ

1-9 Skýringarmyndir í texta án heitis	
10 Kólnun í niðurgröfnum stálpípum og ofanjarðar stálpípum með úretaneinangrun	30
11 Kólnun í niðurgröfnum plastpípum í 1) steinullareinangrun og 2) glerullareinangrun	31
12 Hlutfall kólnunar miðað við varmaleiðni jarðvegs λ_j og kólnunar miðað við varmaleiðni jarðvegs $\lambda_j = 1,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$	32
13 Kólnun í asbestpípu í torfgarði ; kólnun í einangruðum stálpípum í torfgarði	33
14 Kólnun vatns samkvæmt jöfnu 1.20 - Hiti sem fall af pípulengd	34
15 Kostnaður við hitaveitulagnir	35

TÁKN

EININGAR

b	Þykkt asbestpípu	mm
b	þykkt plastkápu	mm
c_p	eðlisvarmi	$\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$
d	þvermál pípu	mm
h	þykkt jarðlags ofan á pípu	mm
H	miðjudýpt pípu	mm
k	kólnunartala	$\text{W/m}^\circ\text{C}$
l	lengd pípu	m
L	lengd pípu	m
m	massastreymi	kg/s
Q	varmatap	W
q	varmatap í þunnu þversniði	W
R	mótstöðutala	$\text{m}^\circ\text{C/W}$
r	rádius	mm
t	hitastig	$^\circ\text{C}$
t_m	lógaritískur meðalhitamunur	$^\circ\text{C}$
Δt	hitamunur	$^\circ\text{C}$
U	heildarvarmaflutningsstuðull	$\text{W/m}^\circ\text{C}$
α	varmaflutningsstuðull	$\text{W/m}^2^\circ\text{C}$
δ	þykkt einangrunar	mm
λ	varmaleiðnistuðull	$\text{W/m}^\circ\text{C}$

Skammstafanir

asb	asbest
ein	einangrun
gl	glerull
i	innri rádius
j	jörð
p	pípa
pe	pólýetýlen
pu	pólýúretan
st	steinull
t	torf
v	vatn

INNGANGUR

Árið 1975 gerði Fjarhitun h.f. að beiðni Karls Ragnars verkfræðings hjá Orkustofnun „athugun á kostnaði við að flytja heitt vatn langan veg og áætlaða kælingu þess“. Niðurstöður þeirra athugana voru birtar í skýrslu sem hlaut nafnið „Flutningur á heitu vatni“ (OS JHD 7612 - Fjarhitun, janúar 1976). Ósk Karls Ragnars á síðasta ári (1979) um endurskoðun áður nefndrar skýrslu í ljósi verðbreytinga sem orðið hafa frá útkomu hennar varð kveikjan að þessari skýrslu „Kólnun vatns í hitaveitulögnum“.

Hlutverk skýrslunnar er einkum það að vera nokkurs konar handbók fyrir tæknimenn, sem óska eftir að finna hitatap í löngum einföldum hitaveitulögnum. Dæmi um hitatap í nokkrum algengum lögnum eru gefin bæði í töflum og línuritum, en auk þess eru í skýrslunni almennar reiknijöfnur, sem gera notendum hennar kleift að meta áhrif á hitatap þegar einangrunarþykkt, lagnadýpi o.s.frv. er breytt.

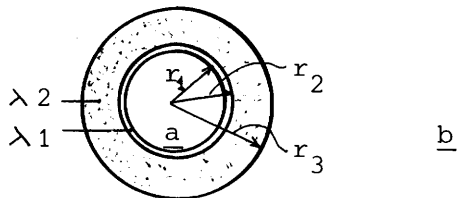
Kostnaði við lagningu hitaveitulagna um óbyggt svæði eru gerð nokkur skil en sökum örra verðbreytinga verður slíkt kostnaðarmet alltaf ófullkomið.

1. Fræðilegur grunnur

1.1 Varmastreymi frá einangruðum rörum

Um varmastreymi frá sívölum pípum með einangrun (sjá mynd 1) gildir jafnan (1)

$$Q = U \cdot L \cdot (t_a - t_b) \quad (1.1)$$



Mynd 1

Jöfnu 1.1 má einnig rita $t_a - t_b = \frac{Q}{L} \cdot \frac{1}{U}$

$$\begin{aligned} \text{eða } t_a - t_b &= \frac{Q}{L} \cdot \left[\frac{1}{2\pi r_1 \alpha_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi \lambda_1} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi \lambda_2} + \frac{1}{2\pi r_3 \alpha_3} \right] \\ &= \frac{Q}{L} \cdot \left[R_{\text{innri veggur}} + R_{\text{pípa}} + R_{\text{einangrun}} + R_{\text{ytri veggur}} \right] \quad (1.2) \end{aligned}$$

R táknar mótstöðu gegn varmastreymi og í einangruðum pípum er $R_{\text{einangrun}} \gg$

$R_{\text{innri veggur}}$, $R_{\text{pípa}}$ og $R_{\text{ytri veggur}}$ Því má rita á einfölduðu formi,

$$t_a - t_b = \frac{Q}{L} \cdot \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi \cdot \lambda_2} \quad (1.3)$$

$$\text{eða } \frac{Q}{L} = \frac{2\pi \cdot \lambda_{\text{einangrun}}}{\ln\left(\frac{r_{\text{pípa}} + \delta}{r_{\text{pípa}}}\right)} \cdot t_m \quad (1.4)$$

$$= k \cdot t_m \quad (1.5)$$

$$\text{þar sem } k = \frac{2\pi \cdot \lambda_{\text{einangrun}}}{\ln\left(\frac{r_{\text{pípa}} + \delta}{r_{\text{pípa}}}\right)} = \frac{1}{R} \quad (1.6)$$

er kölluð kólnunartala fyrir pípu með radíus $r_{\text{pípa}}$ og með einangrun að þykkt δ og varmaleiðnistuðul $\lambda_{\text{einangrun}}$. t_m er lógaritmiskur meðalhitamunur og er skilgreindur sem:

$$t_m = \frac{(t_{a,1} - t_b) - (t_{a,2} - t_b)}{\ln\left(\frac{t_{a,1} - t_b}{t_{a,2} - t_b}\right)} = \frac{t_{a,1} - t_{a,2}}{\ln\left(\frac{t_{a,1} - t_b}{t_{a,2} - t_b}\right)} \quad (1.7)$$

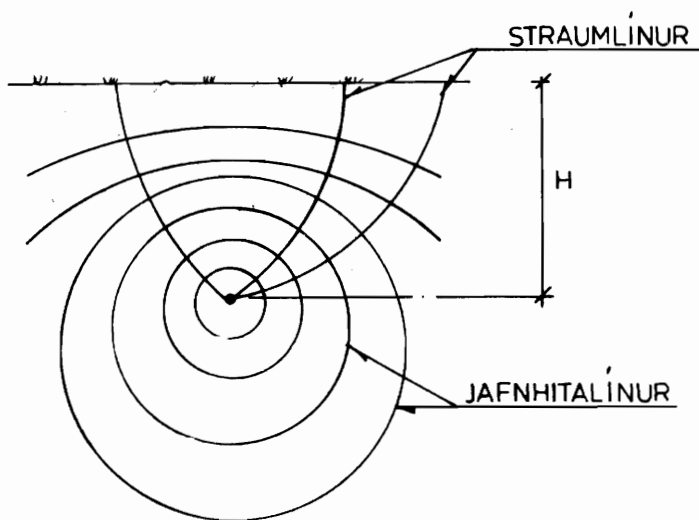
Þar sem $t_{a,1}$ er hiti vatnsins í upphafspunkti og $t_{a,2}$ hitinn í L metra fjarlægð í straumstefnuna. t_b er hitinn á yfirborði einangrunarkápu.

1.2 Varmastreymi frá niðurgröfnum rörum

Eftirfarandi jafna gildir fyrir varmastreymi frá niðurgröfnum strengjum (pípum)

(2) - sjá einnig (15, 16) - mynd 2:

$$Q = \frac{4 \cdot \pi \cdot \lambda_j \cdot L \cdot t_m}{\ln\left\{ \left(8 \left(\frac{H}{d}\right)^2 - 1\right) + 4 \left(\frac{H}{d}\right) \cdot \sqrt{4 \left(\frac{H}{d}\right)^2 - 1} \right\}} \quad (1.8)$$



Mynd 2

Varmastreymismótstaða (mótstöðutala) jarðvegsins er há skilgreind sem

$$R = \frac{\ln\left\{ \left(8 \left(\frac{H}{d}\right)^2 - 1\right) + 4 \left(\frac{H}{d}\right) \cdot \sqrt{4 \left(\frac{H}{d}\right)^2 - 1} \right\}}{4 \cdot \pi \cdot \lambda_j} \quad (1.9)$$

Athugum nú kólnun vatns í löngum pípum.

Kólnunina (hitafallið) í pípu að lengd L má fá út frá eftirfarandi varmajafnvægi:

$$Q_{\text{vatn}} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (t_{v,1} - t_{v,2}) \quad (1.14)$$

$$Q_{\text{tap}} = k \cdot t_m \cdot L \quad (1.15)$$

og $Q_{\text{vatn}} = Q_{\text{tap}}$

því fæst:
$$\Delta t_{\text{vatn}} = t_{v,1} - t_{v,2} = \frac{k \cdot t_m \cdot L}{\dot{m} \cdot c_p} \quad (1.16)$$

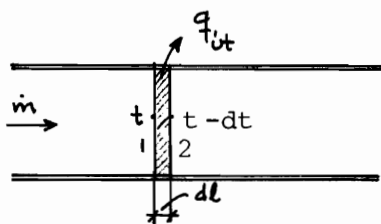
$t_{v,1}$ er hiti vatnsins inn í pípuna og $t_{v,2}$ hiti út úr pípunni.

Nú er t_m , lógaritmiski meðalhitamunurinn, skilgreindur sem,

$$t_m = \frac{t_{v,1} - t_{v,2}}{\ln \left(\frac{t_{v,1} - t_{\text{úti}}}{t_{v,2} - t_{\text{úti}}} \right)} \quad (1.17)$$

Ekki er unnt að reikna t_m nema Δt_{vatn} sé þekkt og er því óhjákvæmilegt að beita hér ítrekunaraðferð (iteration) til að nálgast hið rétta hitafall í pípunni. Í grófum reikningum er oftast nógu gott að nota meðalhitamun milli vatns og útihita og tiltölulega nákvæmt svar fæst eftir fáeinir ítrekanir.

Ef óskað er nákvæmari útreikninga á hitafalli í pípum er rétt að skoða jöfnur 1.14 og 1.15 nokkuð nánar. Lítum á þunnt þversnið að þykkt dl (sjá mynd að neðan).



Mynd 5

Við framhlið sniðsins er vatnshitinn t og varmainnihald $q_1 = \dot{m} \cdot c_p \cdot t$. Við bakhlið sniðsins er vatnshitinn $t - dt$ (athugið að hér er dt skilgreint með neikvætt formerki) og $q_2 = \dot{m} \cdot c_p \cdot (t - dt)$. Breyting í varmainnihaldi yfir þykktina dl er því $q_2 - q_1 = \dot{m} \cdot c_p \cdot (-dt)$.

Varmastreymi frá pípuþversniðinu dl er samkvæmt jöfnu 1.15

$$q'_{út} = k \cdot (t_m) \cdot dl,$$

en þetta er jafnt breytingunni í varmainnihaldi sniðsins.

Því fæst fyrir þunnt pípuþversnið:

$$\dot{m} \cdot c_p \cdot (-dt) = k \cdot (t_m) \cdot dl = k \cdot (t - t_{úti}) dl \quad (1.18)$$

(Athugið að hér er tekinn hitamunurinn $(t - t_{úti})$ í stað t_m , en þetta er réttlátanlegt fyrir þunnt þversnið dl).

Jöfnu 1.18 má tegra ef k og c_p eru konstant eftir pípunni:

$$\int_{t_{v,0} - t_{úti}}^{t - t_{úti}} \frac{dt}{t - t_{úti}} = \frac{-k}{\dot{m} \cdot c_p} \int_0^L dl \quad (1.19)$$

$$\therefore \frac{t - t_{úti}}{t_{v,0} - t_{úti}} = \exp \left(- \frac{k \cdot L}{\dot{m} \cdot c_p} \right) \quad (1.20a)$$

$$\text{eða} \quad t = t_{úti} + (t_{v,0} - t_{úti}) \cdot \exp \left(- \frac{k \cdot L}{\dot{m} \cdot c_p} \right) \quad (1.20b)$$

Jafna 1.20b gefur hita vatnsins L metra frá inntaki ef hiti við inntak er $t_{v,0}$. Á mynd 14 eru sýnd dæmi um hitafall samkvæmt jöfnu 1.20.

Hér á eftir verður skoðað varmatap í einföldum pípulögnum sem lagðar eru á eftirfarandi hátt:

1. Ofanjarðar
2. Niðurgrafnar
3. Í torfgarði

2. Pípur ofanjarðar, einangraðar í blikkhlífðarkápu

Þetta er einfaldasta reiknidæmið, en einasta vörn slíkrar lagnar gegn varmatapi er einangrunin sem umlýkur pípuna.

Kólnunartala pípunnar er gefin í jöfnu 1.6, þ.e.:

$$k_{\text{pípa ofanjarðar}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{\text{einangrun}}}{\ln\left(\frac{(r_p + \delta)}{r_p}\right)}$$

Kólnun heits vatns í ofanjarðar pípulögn hefur verið reiknuð fyrir pípu-
stærðirnar 150 til 600 mm og miðað hefur verið við rennsli sem samsvarar til
5 mmVS/m (5%/.) rennslismótstöðu. Pípan er einangruð með steinullareingrun með
varmaleiðnistuðul $\lambda_{\text{ein.}} = 0,035 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ (3).

Niðurstöður reikninganna eru birtar í töflu 1 og í línuriti, sjá mynd 10.

Nafnstærð mm	Dy mm	Einangr. þykkt mm	kólnunartala k ofanjarþípa W/m ² C (λ = 0,035 W/m ² C)	rennsli við 5%.. þrýstifall l/s	kólnun miðað við Δ t = 75°C 95°C °C/km °C/km
150	168,3	50	0,47	16,7	0,50 0,64
200	219,1	50	0,58	33,3	0,31 0,40
250	273	50	0,71	61	0,21 0,26
300	323,9	50	0,82	97	0,15 0,19
350	355,6	50	0,89	153	0,10 0,13
400	406,4	50	1,0	211	0,08 0,11
450	457,2	50	1,11	292	0,07 0,09
500	508	50	1,22	389	0,06 0,07
600	609,6	50	1,45	597	0,04 0,06

TAFLA 1 Kólnun vatns í ofanjarðar þípulögn

3. Niðurgrafið stálrör með plastkápu einangrað með pólýúretan- einangrun

Ofan á rörunum eru 15 cm þurrt sandlag með $\lambda_{\text{sandur}} = 0,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ og 55 cm þykkt jarðvegslag (mold og leirkenndur jarðvegur) með $\lambda_{\text{jörð}} = 1,5 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ (3), sjá mynd 6 (á næstu síðu).

Mótstöðutala einangrunarinnar ($\lambda_{\text{pu}} = 0.035 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ (3)) er skilgreind sem (5),

$$R_{\text{pu}} = \frac{\ln(r_p + \delta) - \ln(r_p)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{\text{pu}}} \quad (3.1)$$

þar sem δ er þykkt einangrunar samkvæmt I.C.Møller (4).

Mótstöðutala pólýetýlen plastkápunnar má reikna samkvæmt,

$$R_{\text{pe}} = \frac{\ln(r_p + \delta + b) - \ln(r_p + \delta)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{\text{pe}}} \quad (3.2)$$

en varmaleiðnistuðull pólýetýlen plasts er $\lambda_{\text{pe}} = 0,4 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ (6).

Mótstöðutala sandlags í þröngum skurði (sjá mynd 6 er reiknuð samkvæmt jöfnunni, (sbr. 1.6),

$$R = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} \quad (3.3)$$

þar sem sandfyllingin er skoðuð sem jafnt einangrunarlag að þykkt h_1 utan um pípana. Þá fæst fyrir sandlagið,

$$R_{\text{sandur}} = \frac{\ln \left((r_{\text{PEH}} + h_1) / r_{\text{PEH}} \right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{\text{sandur}}} \quad (3.4)$$

Til þess að reikna mótstöðutölu jarðvegsfyllingarinnar er pípan og sandfyllingin skoðuð sem niðurgrafinn sívalningur með radíus $r^1 = 2(r_{\text{PEH}} + h_1)$. Þannig fæst, sbr. jöfnu 1.11,

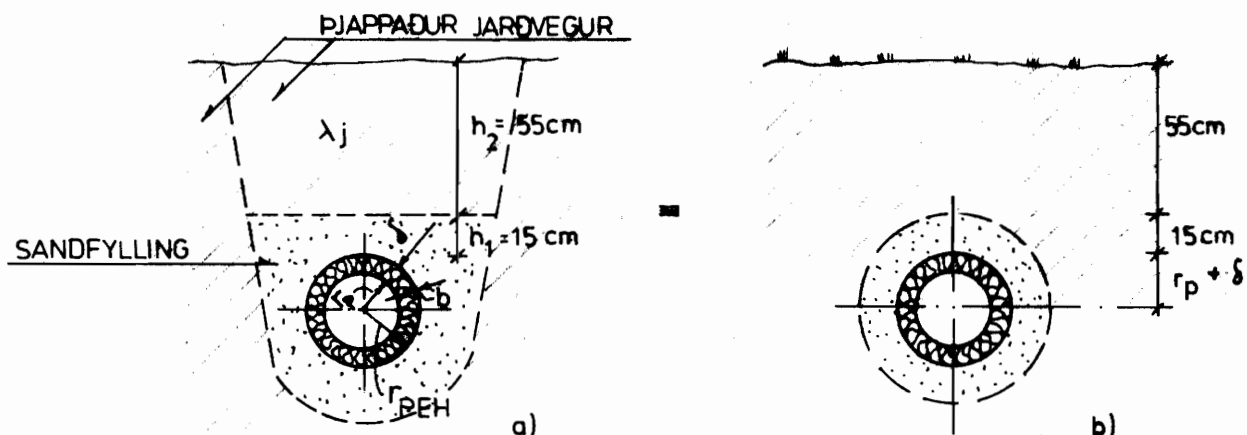
$$\begin{aligned} R_{\text{jörð}} &= \frac{\ln \left(2(r^1 + h_2) / r^1 \right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_j} \\ &= \frac{\ln \left\{ (2(r_{\text{PEH}} + h_1) + h_2) / (r_{\text{PEH}} + h_1) \right\}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_j} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Heildarmótstöðutala einangraðar stálpípu grafinnar í jörðu er há,

$$R_{\text{heildar}} = R_{\text{pu}} + R_{\text{pe}} + R_{\text{sandur}} + R_{\text{jörð}} \quad (3.6)$$

og kólnunartala er skilgreind sem

$$k_{\text{einangr. stálpípa í jörð}} = \frac{1}{R_{\text{heildar}}} \quad (3.7)$$



Mynd 6

Niðurstöður útreikninga á kólnunartölum (k -gildi) fyrir niðurgrafnar stálpípur með úretaneinangrun í plastkápu eru gefnar í töflu 2 miðað við varmaleiðnitölur $\lambda_{\text{pu}} = 0,0256 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, samkvæmt handbók framleiðanda (4), og $\lambda_{\text{pu}} = 0,035 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, samkvæmt riti Rannsóknarstofnunar byggingariðnaðarins „Einangrun húsa“ (3). Stuðst var við kólnunartölur sem reiknaðar voru fyrir $\lambda_{\text{pu}} = 0,035 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ í útreikningi á kólnun heits vatns. Valið er að reikna út kólnunina eftir eftirfarandi hitamun milli pípu (meðalhiti vatns í pípu) og yfirborðs jarðar: $\Delta t = 75^\circ\text{C}$ (t.d. $t_v = 60^\circ\text{C}$, $t_{\text{úti}} = -15^\circ\text{C}$), $\Delta t = 95^\circ\text{C}$ (t.d. $t_v = 80^\circ\text{C}$, $t_{\text{úti}} = -15^\circ\text{C}$) og $\Delta t = 115^\circ\text{C}$ (t.d. 100°C , $t_{\text{úti}} = -15^\circ\text{C}$). Niðurstöður útreikninganna er að finna í töflu 3 og í línuriti, mynd 10.

Athugið: Hér og annars staðar á í raun að nota t_m , lógaritmiskan meðalhitamun, svo að líta má á notkun línuritanna sem hjálpartæki í ítrekunaraðferð til að nálgast hið „réttu“ hitafall.

Nafnstærð mm	DY mm	Einangr. þykkt (3) mm	D _{kápa} , y mm	R _{pu} λ _{pu} = 0,035 (3)	R _{pu} λ _{pu} = 0,0256 (4)	R _{sandur}	R _{jörð}	Σ R m°K/W	Kólnunartölur	
									k = 1/Σ R	W/m°C λ _{pu} = 0,035 λ _{pu} = 0,0256
20	26,9	29	90	5,23	(7,15)	0,78	0,22	6,23	0,16	(0,12)
25	33,7	26	90	4,24	(5,90)	0,78	0,22	5,24	0,19	(0,15)
32	42,4	31	110	4,1	(5,6)	0,70	0,21	5,01	0,20	(0,15)
40	48,3	28	110	3,5	(4,79)	0,70	0,21	4,41	0,23	(0,18)
50	60,3	30	125	3,14	(4,29)	0,65	0,21	4,0	0,25	(0,19)
65	76,1	29	140	2,58	(3,52)	0,61	0,21	3,40	0,29	(0,23)
80	88,9	32	160	2,47	(3,37)	0,56	0,20	3,23	0,31	(0,24)
100	114,3	39	200	2,37	(3,23)	0,48	0,20	3,05	0,33	(0,26)
125	139,7	39	225	2,02	(2,76)	0,45	0,19	2,56	0,38	(0,29)
150	168,3	37	250	1,66	(2,27)	0,42	0,19	2,27	0,44	(0,35)
200	219,1	45	315	1,56	(2,14)	0,35	0,18	2,09	0,48	(0,33)
250	273,0	57	400	1,59	(2,17)	0,29	0,17	2,05	0,49	(0,38)

TAFLA 2 Niðurgráfin stálror með plastkápu einangruð með pólýuretaneinangrun

Nafnstærð mm	Kólnunartölur samkvæmt töflu 2 W/m°C	Rennsli við þrýstifallið		Kólnun (°C/km) miðað við hitamuninn					
		5% l/s	10% l/s	Δt = 75°C		Δt = 95°C		Δt = 115°C	
				5% 10% 5% 10% 5% 10%	5% 10% 5% 10% 5% 10%	5% 10% 5% 10% 5% 10%	5% 10% 5% 10% 5% 10%		
20	0,16	0,09	0,14	31,3	20,0	39,6	25,9	47,9	30,8
25	0,19	0,18	0,25	18,9	13,6	24,0	17,2	29,0	20,8
32	0,20	0,36	0,54	10,0	6,6	12,6	8,4	15,3	10,2
40	0,23	0,56	0,83	7,3	5,0	9,3	6,3	11,3	7,6
50	0,25	1,0	1,39	4,5	3,2	5,7	4,1	6,9	8,8
65	0,29	2,0	3,2	2,6	1,6	3,3	2,1	3,9	2,5
80	0,31	3,3	4,86	1,7	1,14	2,1	1,45	2,5	1,8
100	0,33	5,5	8,1	1,1	0,72	1,4	0,92	1,8	1,2
125	0,38	10,0	15,3	0,7	0,44	0,9	0,56	1,0	0,7
150	0,44	16,7	23,6	0,5		0,6			
200	0,48	33,3		0,26		0,33			
250	0,49	61,0		0,14		0,182			

TAFLA 3 Kólnun í niðurgrofnum stálörum með úretaneinangrun (4)

4. Niðurgrafnar plastpípur með 1) steinullareinangrun
2) glerullareinangrun

Plastpípur (6,7) í einangrunarhólkum (8, 9, 10) eru notaðar þar sem jarðvegur er þurr og gljúpur þannig að ekki er hætt á að vatn safnist fyrir kringum pípurinn. Notaður er sami reiknigrundvöllur fyrir varmatap og fyrir einangraðar stálpípur að undanskilinni plastkápunni, en ekki er gert ráð fyrir plastkápu utan um einangrunarhólkana. Ef til vill mætti gera ráð fyrir lægri lambda-tölu (λ) fyrir jarðveginn en gert var ráð fyrir í § 3 þar sem gert er að skilyrði að jarðvegur sé þurr.

Varmaleiðnitala steinullarhólka er á bilinu 0,033 W/m^{°K} (8, 9) til 0,042 W/m^{°K} og hefur $\lambda_{st} = 0,040$ W/m^{°K} verið notað í reikningum. Varmaleiðnitala glerullarhólka er sett $\lambda_{gl} = 0,042$ W/m^{°K} (10, 13). Þykktir steinullar- og glerullarhólka eru í samræmi við upplýsingar frá framleiðendum (9, 10), sjá töflur 4 og 5.

Niðurstöður reikninganna er að finna í töflu 4 fyrir plastpípur í steinullareinangrun og í töflu 5 fyrir plastpípur í glerullareinangrun og í línuriti, mynd 11.

Nafnst. (6) tommur	Dy mm	Einangr. þykkt (9) mm	R _{steinull} (λ = 0,040 W/m ² ·K) m ² ·K/W	R _{sand} m ² ·K/W	R _{jörð} m ² ·K/W	k _{plast} = $\frac{1}{\sum \frac{R}{k}}$ steinull W/m ² ·K	Rennsli (l/s) miðað við þrýstifallið (6)		Kólnun (°C/km) miðað við			
							5% 10%	5% 10%	Δt = 75°C 10%	Δt = 95°C 10%		
1/2	20	30	5,52	1,19	0,16	0,15	0,04	0,06	62,1	48	78,7	60,8
3/4	25	40	5,71	1,08	0,16	0,14	0,08	0,12	31,4	20,9	39,7	26,5
1	32	40	4,98	1,06	0,16	0,16	0,16	0,24	18,0	12,0	22,8	15,2
1 1/4	40	40	4,37	1,03	0,16	0,18	0,31	0,16	10,4	7,0	13,2	8,9
1 1/2	50	50	4,37	0,95	0,16	0,18	0,55	0,8	5,9	4,1	7,5	5,2
2	63	50	3,78	0,92	0,16	0,21	1,0	1,45	3,8	2,6	4,8	3,3
2 1/2	75	50	3,37	0,90	0,16	0,22	1,65	2,45	2,4	1,6	3,0	2,0
3	90	50	2,97	0,91	0,16	0,25	2,65	3,9	1,7	1,2	2,2	1,5
4	110	50	2,57	0,84	0,15	0,28	4,6	6,8	1,1	0,8	1,4	1,0
5	140	80	3,03	0,74	0,15	0,25	8,0	11,0	0,56	0,41	0,71	0,52
6	180	80	2,53	0,70	0,14	0,29	15	23	0,35	0,23	0,44	0,29
8	225	80	2,14	0,57	0,14	0,33	28	42	0,21	0,14	0,27	0,18
10	280	100	2,14	0,63	0,14	0,34	50	74	0,12	0,08	0,15	0,10
12	315	100	1,96	0,61	0,13	0,36	69	100	0,09	0,06	0,12	0,08

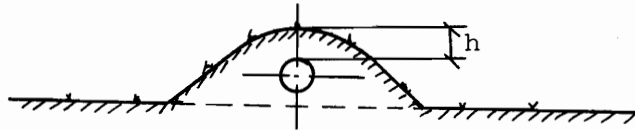
TAFLA 4 Kólnun í niðurgröfnum plastpípum í steinullareinangrun

Nafnst. (5) tommur	Dy mm	Einangr. þykkt (9) mm	R_{glerull} ($\lambda = 0,04 \text{ W/m}^{\circ}\text{k}$) $\text{m}^{\circ}\text{k/W}$	R_{sand} $\text{m}^{\circ}\text{k/W}$	$R_{\text{jörð}}$ $\text{m}^{\circ}\text{k/W}$	$K_{\text{plast}} = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R_{\text{glerull}}}}$ $\text{W/m}^{\circ}\text{k}$	rennsli (l/s) miðað v/prýstifallið (b) $5^{\circ}/\dots 10^{\circ}/\dots$		Kólnun ($^{\circ}\text{C/km}$) miðað við $\Delta t = 75^{\circ}\text{C}$ $\Delta t = 95^{\circ}\text{C}$ $5^{\circ}/\dots 10^{\circ}/\dots$ $5^{\circ}/\dots 10^{\circ}/\dots$			
							5°/...	10°/...	5°/...	10°/...	5°/...	10°/...
1/2	20	50	7,37	1,03	0,16	0,12	0,04	0,06	53,8	35,9	68,1	45,3
3/4	25	60	6,66	0,96	0,16	0,13	0,08	0,12	29,6	19,4	36,8	24,6
1	32	60	5,9	0,95	0,16	0,14	0,16	0,24	16,0	10,7	20,3	13,5
1 1/4	40	60	5,25	0,93	0,16	0,16	0,31	0,46	9,2	6,2	11,7	7,9
1 1/2	50	60	4,64	0,91	0,16	0,18	0,55	0,8	5,9	4,1	7,5	4,2
2	63	80	4,79	0,82	0,15	0,17	1,0	1,45	3,1	2,1	3,9	1,6
2 1/2	75	80	4,33	0,80	0,16	0,19	1,65	2,45	2,1	1,4	2,6	1,7
3	90	80	3,87	0,79	0,15	0,21	2,65	3,9	1,4	1,1	2,0	1,3
4	110	80	3,40	0,76	0,15	0,23	4,6	6,8	0,9	0,6	1,15	0,8
5	140	80	2,89	0,74	0,14	0,27	8,0	11,0	0,6	0,44	0,77	0,56
6	180	80	2,41	0,70	0,14	0,31	15	23	0,37	0,25	0,47	0,31
8	225	80	2,04	0,73	0,14	0,34	28	42	0,22	0,14	0,28	0,19
10	280	80	1,71	0,64	0,13	0,40	50	74	0,14	0,09	0,18	0,12
12	315	80	1,56	0,67	0,14	0,42	69	100	0,11	0,07	0,14	0,09

TAFLA 5 Kólnun í niðurgrofnum plastpípum í glerullareinangrun

5. Pípur í torfgarði

Mynd 5 sýnir pípu í torfgarði



Mynd 7

Til þess að reikna varmatap í pípunni er gerð eftirfarandi nálgun: Efri hluti pípunnar (miðað er við miðlínu pípu) er skoðaður sem hálfur sívalningur með jarðvegseinangrun h metra þykkri (mynd 8-I). Um varmatap í einangruðum sívalningi gildir jafnan:

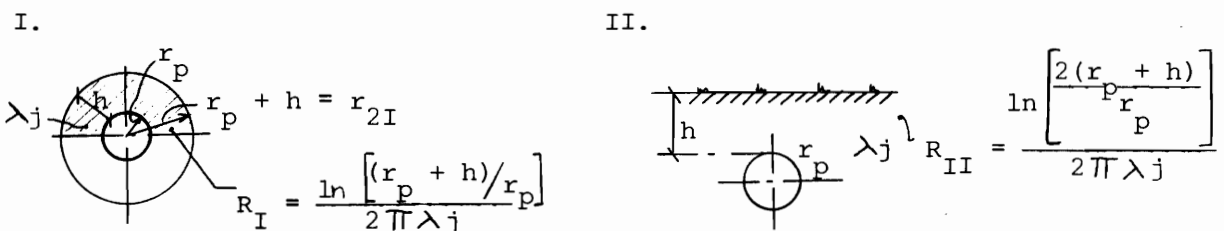
$$q = k \cdot t_m \quad \text{pr. lengdarmetra} \quad (5.1)$$

og mótstöðutalan $R = 1/k$ er skilgreind sem (sbr. 1.6),

$$R = \frac{\ln \left[\frac{r_2}{r_1} \right]}{2 \pi \cdot \lambda} \quad (5.2)$$

Fyrir pípu á mynd 8-I verður,

$$R = \frac{\ln \left[\frac{r_p + h}{r_p} \right]}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_j} \quad (5.3)$$



Mynd 8

Neðri hluti pípunnar (miðað við miðlínu eins og áður) er skoðaður sem niðurgrafinn sívalningur en mótstöðutala hans er skilgreind sem (mynd 8-II):

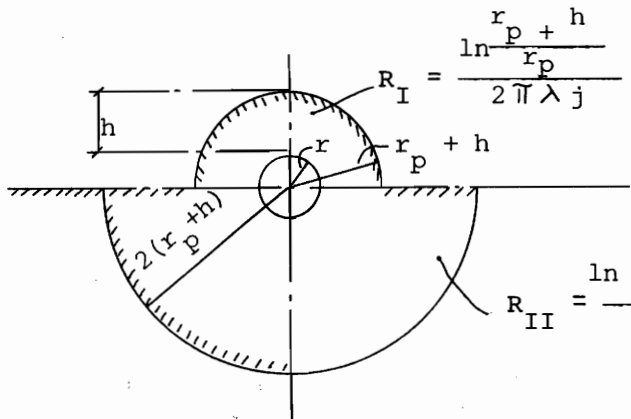
$$R = \frac{\ln \left[\frac{2(h + r_p)}{r_p} \right]}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_j} \quad (1.11)$$

Fyrir niðurgrafna pípu má skilgreina jafngildisradius og reikna síðan varmatap eins og í einangruðum sívalningi.

Jafngildisradius fæst með því að setja,

$$R_{II} = \frac{\ln (r_{2II}/r_p)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_j} \quad (5.4)$$

og fæst þá að $r_{2II} = 2 (h + r_p)$. Nú má taka nálganirnar fyrir efri og neðri hluta pípunnar saman og fæst þá reiknimódelið sem sýnt er í mynd 9 að neðan.



The diagram shows a semi-circular pipe cross-section with radius r_p and height h . The upper semi-circular part has a thermal resistance $R_I = \frac{\ln \frac{r_p + h}{r_p}}{2 \pi \lambda_j}$ and a conductance $k_I = \frac{1}{R_I}$. The lower semi-circular part has a thermal resistance $R_{II} = \frac{\ln \frac{2(r_p + h)}{r_p}}{2 \pi \lambda_j}$ and a conductance $k_{II} = \frac{1}{R_{II}}$. The total thermal resistance R_t is given by $k_t = \frac{k_I + k_{II}}{2}$ and $k_t = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_I} + \frac{1}{R_{II}} \right)$.

$$k_t = \frac{k_I + k_{II}}{2} \quad k_t = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_I} + \frac{1}{R_{II}} \right) \quad (5.5)$$

eða
$$R_t = \frac{2 \cdot R_I \cdot R_{II}}{R_I + R_{II}} \quad (5.6)$$

Mynd 9

5.1 Asbestpípa í torfgarði

Taka verður tillit til einangrunargildis asbestpípunnar en samkvæmt „Durasbest“ handbók (11) er $\lambda_{\text{asb.}} = 0,465 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. Þykkt asbestpípa er gefin í handbók (11) og mótstöðutala asbestpípunnar verður þá samkvæmt jöfnu:

$$R_{\text{asb}} = \frac{1}{k_{\text{asb}}} = \frac{\ln \left((r_i + b)/r_i \right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{\text{asb}}} \quad (5.7)$$

Kólnunartala asbestpípu í torfgarði fæst nú úr jöfnum 5.6 og 5.7.

Þannig verður:

$$k_{\text{asbest í torfg.}} = \frac{1}{R_t + R_{\text{asb}}} \quad (5.8)$$

Þar sem varmastreymi frá óeinangruðum pípum í jarðvegi er mjög háð varmaleiðni jarðvegsins hefur verið teiknað samband kólnunar og varmaleiðnistuðuls jarðvegs (mynd 12). Í mynd 13 er gefin kólnun vatns í asbestpípu í jarðvegi með $\lambda_j = 1,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ fyrir $\Delta t = 75^\circ\text{C}$ og $\Delta t = 95^\circ\text{C}$. Til að finna kólnun í pípu í jarðvegi með $\lambda_j \neq 1,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ verður að finna hlutfallsstuðul í mynd 12 og margfalda með honum útkomuna úr mynd 13.

Mælingar á ákveðnum íslenskum jarðvegi gáfu $0,3 < \lambda_j \leq 0,57 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ (12) og er kólnun í slíkum jarðvegi einnið sýnd í mynd 13.

5.2 Einangruð stálpípa í torfgarði

Mótstöðutala einangrunarinnar er skilgreind sem,

$$R_{pu} = \frac{\ln(r_p + \delta) - \ln(r_p)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{pu}} \quad (3.1)$$

en hér er reiknað með stálpípu með polyúretan einangrun í plastkápu (4).
Kólnunartala stálpípunnar verður þá,

$$k_{\substack{\text{stálpípa} \\ \text{í torfgarði}}} = \frac{1}{R_t + R_{pu}} \quad (5.10)$$

Niðurstöður útreikninga á kólnun vatns í stálpípu með úretaneinangrun, en gengið hefur verið út frá sömu forsendum um torfgarðinn og í 5.1, eru gefnar í línuriti, mynd 13.

Nafnstærð mm	Dy mm	h (mm)	R_{torf} $\lambda_j = 1,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$	R_{asb}	k_{asb} í torfg. $\lambda_j = 1,0$ -	rennsli miðað við 10%. þrýstifall (1/s), og 5%. fyrir $\geq \emptyset 150$	Kólnun vatns í röri ($^\circ\text{C}/\text{km}$) $\Delta t = 75^\circ\text{C}$ $\Delta t = 95^\circ\text{C}$ (60/ -15) (80/-15)
65 x)	83	600	0,48	0,084	1,78	1,25	25,7 32,5
80	98	600	0,46	0,0695	1,89	4,03	8,4 10,6
100	120	600	0,43	0,0624	2,03	7,8	4,7 6,0
125	149	600	0,4	0,0601	2,17	14,7	2,64 3,35
150	178	600	0,372	0,0586	2,32	15,8	2,6 3,3
200	236	600	0,33	0,0567	2,59	33,1	1,4 1,8
250	288	600	0,31	0,0484	2,82	61	0,9 1,1
300	346	600	0,284	0,0488	3,0	100	0,6 0,7
350	404		0,264	0,0491	3,19	150	0,4 0,5
400 +)	442 +)		0,248	0,0342	3,54	211	0,3 0,4

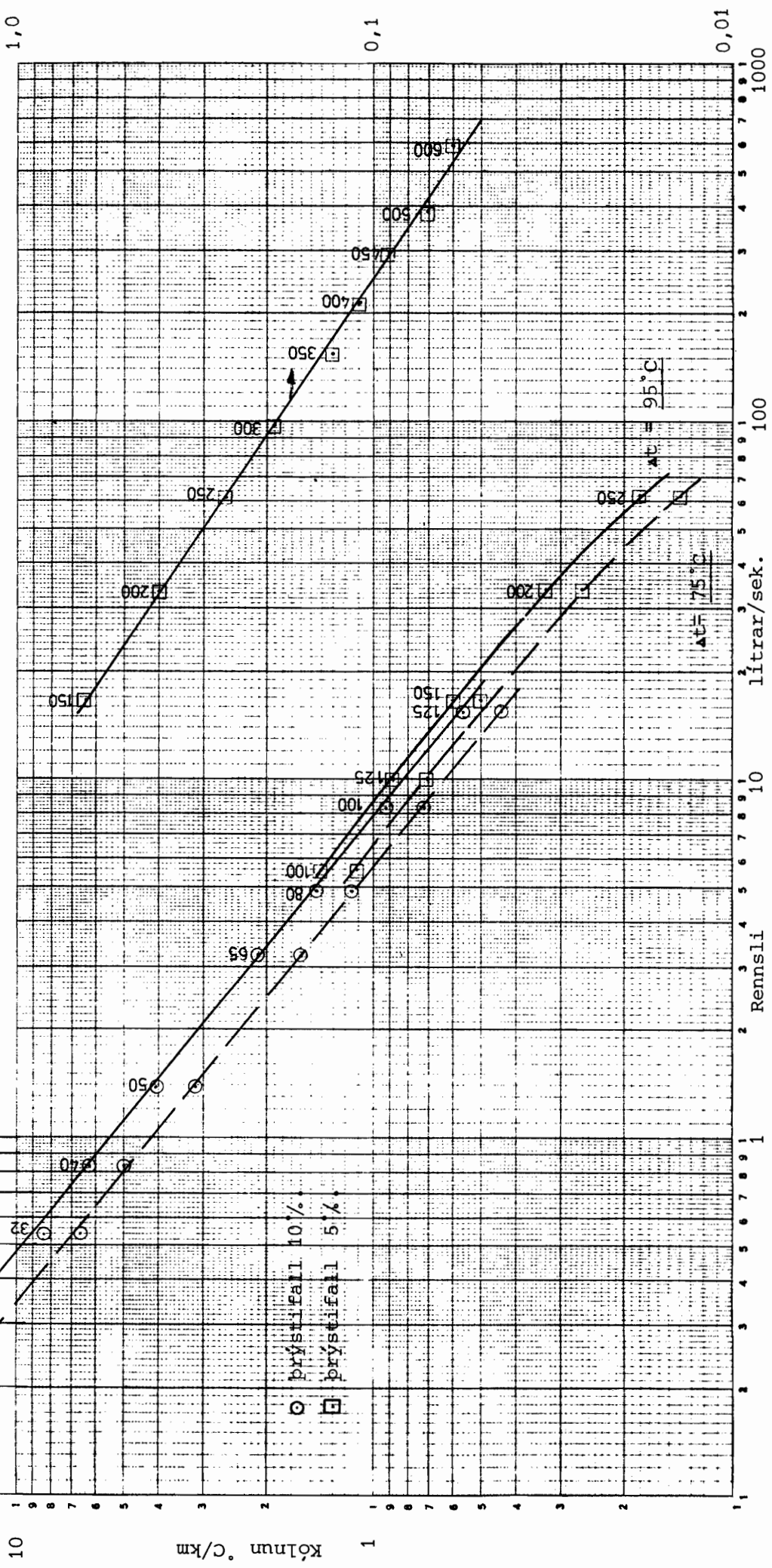
x) 10 kg/cm² reynslubr.
+) 6 kg/cm² reynslubr.

TAFLA 6 Kólnun vatns í asbestpípu í torfgarði

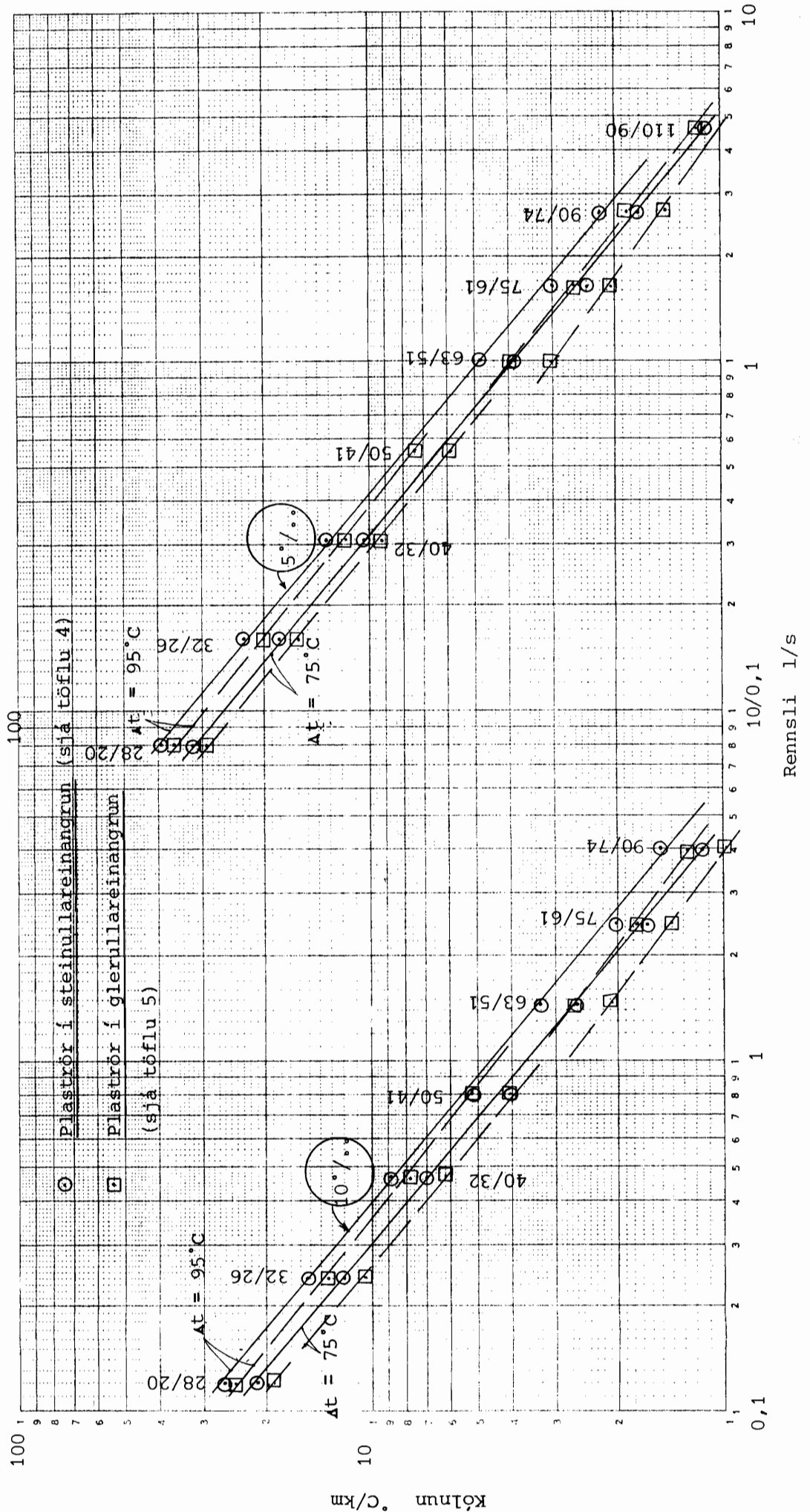


OFANJARÐAR STÁLPIPA MEÐ ÚRETANEINANGRUN
(sjá töflu 1) $\Delta t = 95^\circ\text{C}$

NIÐURGRAFIÐ STÁLROÐR MEÐ POLYÚRETAN
EINANGRUN Í PLASTKÁPU (sjá töflu 3)



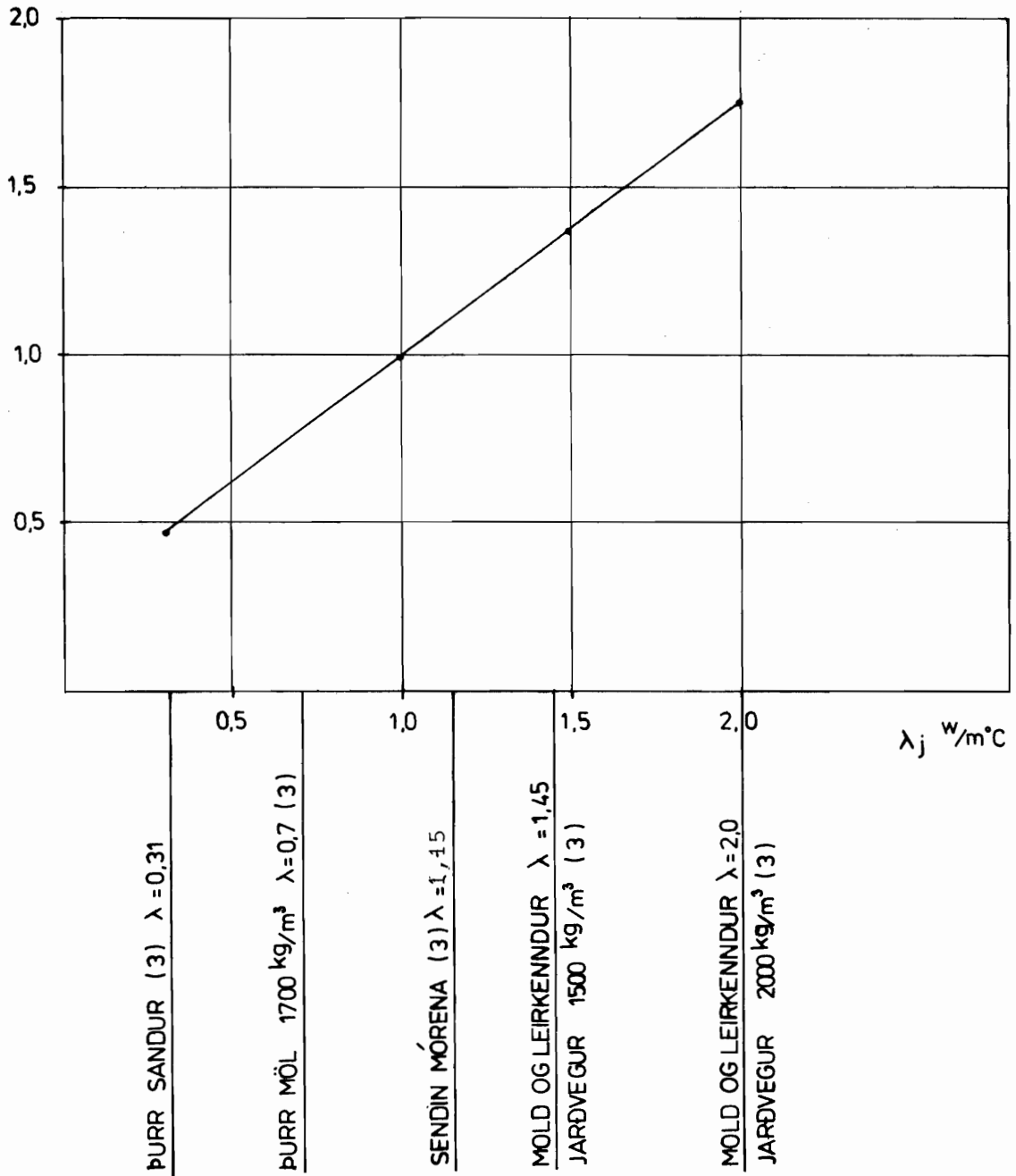
MYND 10 Kólnun í niðurgröfnum stálpipum og ofanjarðar stálpipum með úretaneinangrun



MYND 11 Kólnun í niðurgrofnum plastpípum í 1) steinullareinangrun 2) glerullareinangrun

KÓLNUN/ KÓLNUN $\lambda = 1,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

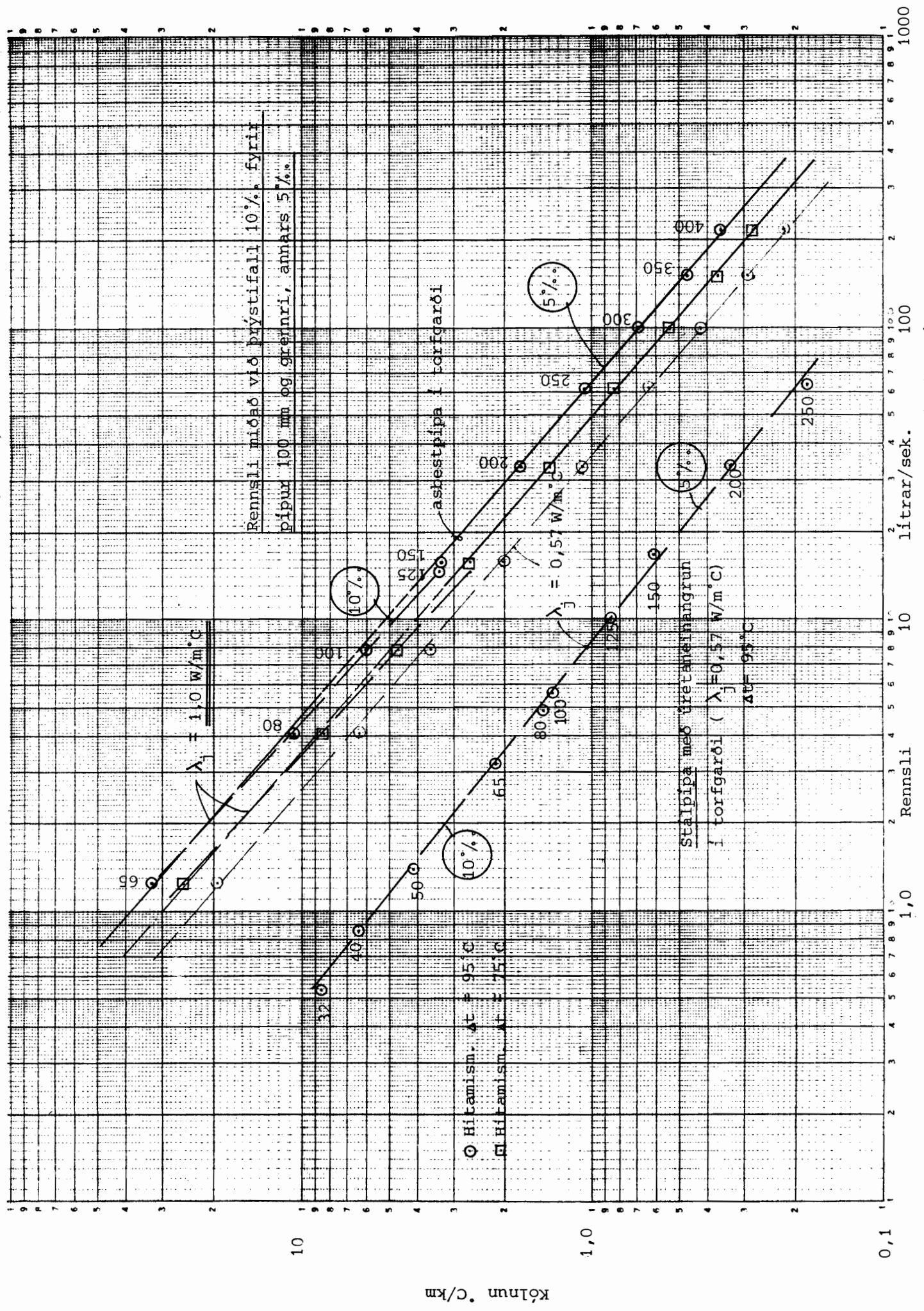
$k/k \lambda = 1,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$



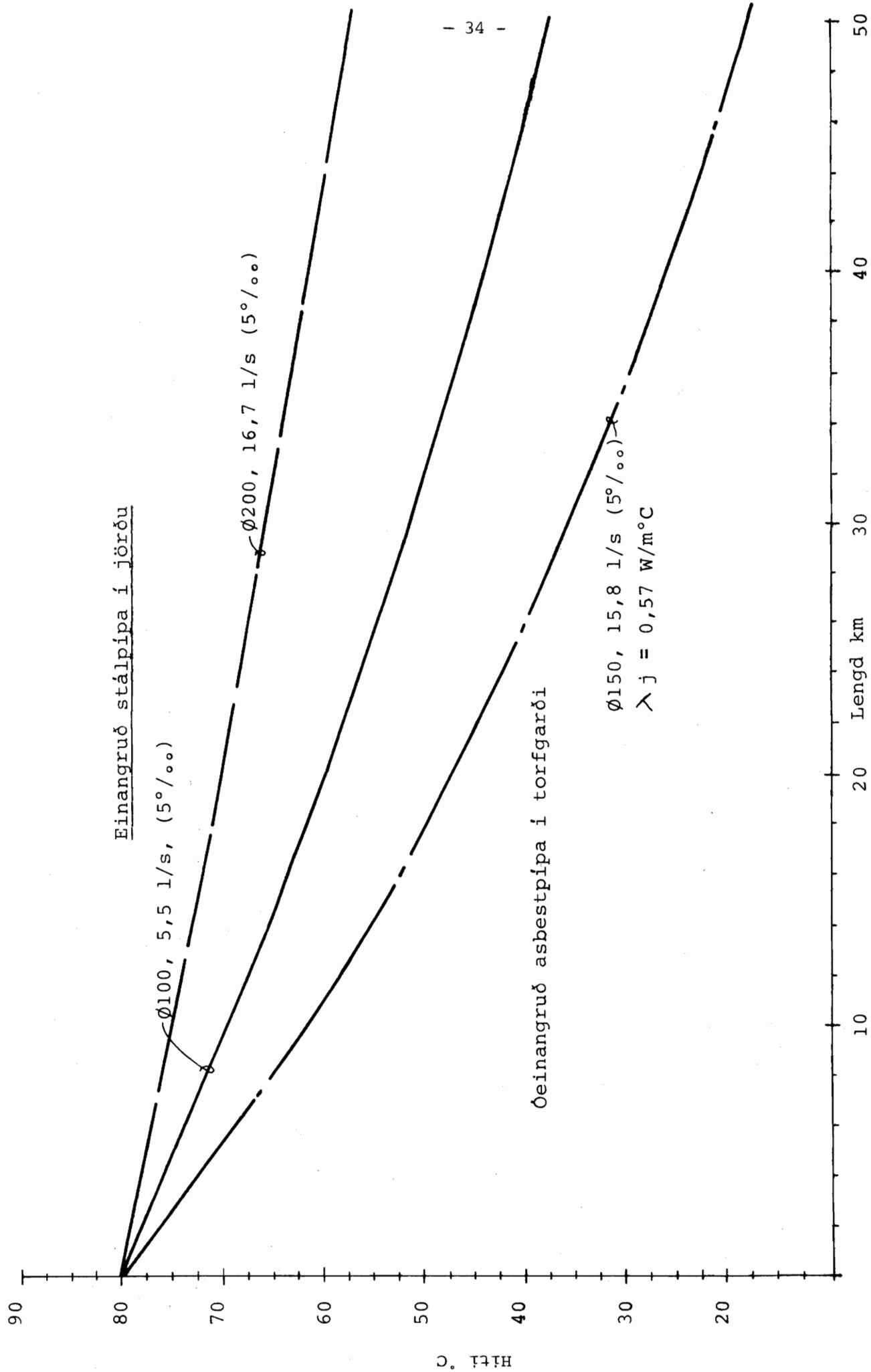
MYND 12

Hlutfall kólnunar miðað við varmaleiðni jarðvegs λ_j
 og kólnunar miðað við varmaleiðni jarðvegs $\lambda_j = 1,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
 (sjá mynd 13)

Gildir fyrir öll pípuþvermál d og mismunandi dýptir h.



MYND 13 Kólnun í asbestþípu í torfgarði; kólnun í einangruðum stálþípu í torfgarði



Mynd 14 Kólnun vatns samkvæmt jöfnu 1.20 - Hiti sem fall af pípulengd

HEIMILDIR

1. Keith Cornwell
„The Flow of Heat" van Nostrand-Reinhold 1977
2. Eckert, E.R.G. & Drake, R.M.
„Heat and Mass Transfer" 2nd.ed. McGrawHill 1959
3. „Einangrun húsa", Rannsóknarstofnun byggingariðnaðarins 1977
4. Handbók frá I.C.Møller
„Miljö Värme - Fjärr Värme"
5. James R. Welty
„Engineering Heat Transfer", Wiley 1974, pp. 72-98
6. „Plaströr og tengihlutir"
Handbók frá Reykjalundi
7. Wirsbo Bruk, Teknisk information, útgáfa 1. maí 1975
8. Elkem-Rockwool handbók
Elkem-Spigerverket A/S og A/S Rockwool
9. „Isolering af fjernvarmeledninger" - handbók
Rockwool A/S, umboð Steinull h.f.
10. „Glasuld Isolering" Superfos Glasuld handbók nr. 7376
11. „Durasbest pressure pipes and fittings" handbók
Eternit Aktiengesellschaft Berlin - Hamburg Umboð Ísól h.f.
12. „Flutningur á heitu vatni"
OS JHD 7612 og Fjarhitun h.f. janúar 1976
13. Fibreglass Limited - Product Sheet
Umboð Polaris h.f.
14. Peter Olufsen, „Fjernvarmeledninger"
15. „Underjordiske varmeledninger"
Statens Byggeforskningsinstitut, særtryk nr. 114,
DK 697.34: 697.33 København 1960
16. McAdams, W.H.
„Heat Transmission" 3rd ed., McGraw - Hill, N.Y. 1954

VIÐAUKI

Kostnaður við hitaveitulagnir

Kostnaður við hitaveitulagnir

Kostnaðartölur, sem gefnar eru í mynd 15 (s. 35), fela í sér 1) efniskostnað, 2) kostnað við jarðvinnu og pípulögn og 3) kostnað vegna hugsanlegra sprenginga. Jarðvinnukostnaðurinn er metinn lágt, þar sem hér er um að ræða aðveitulagnir lagðar yfir eða í óbyggt land. Að neðan eru gefin dæmi um kostnaðarliði og er þá valið að gefa upp kostnaðarliði 2) og 3) sem hlutfall af efnisverði 1), en tiltölulega auðvelt er að afla sér upplýsinga um verð á pípuefni.

Kostnaðarhlutfall jarðvinnu + pípulagnar og efnis er einnig gefið í mynd V1.

Athugið: Uppgefið verð hér og í mynd 15 eru frá Okt. 1979 BVT = 355

Stálpípur í jörðu (~70 cm dýpi)

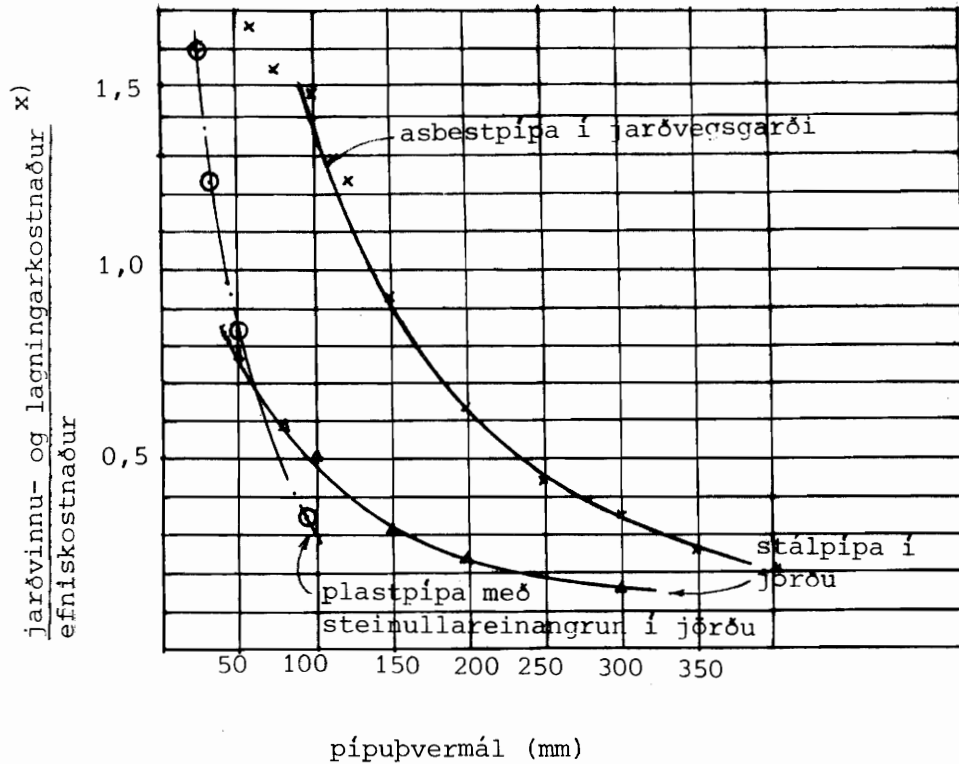
Pípuþvermál	kostn.hlutfall 2/1	Kostn.hlutfall 3/1 (20% klöpp)
Ø 50 (efni 8300 kr/m)	0,77 (6440 kr/m)	0,24 (2000 kr/m)
Ø 100	0,50	0,12 (2000 kr/m)
Ø 200	0,23	0,05 (2000 kr/m)

Plastpípur með steinullareinangrun í jörðu

Pípuþvermál	kostn.hlutfall 2/1	kostn.hlutfall 3/1 (20% klöpp)
pípa einangrun		
32/26 (973 kr/m 1362 kr/m)	1,6 (3710 kr/m)	0,85 (2000 kr/m)
63/51 (3710 kr/m 1890 kr/m)	0,83 (4600 kr/m)	0,36 (2000 kr/m)
110/90 (10930kr/m 3550 kr/m)	0,34 (4900 kr/m)	0,14 (2000 kr/m)

Asbestpípur í torfgarði (ekki gert ráð fyrir klöpp)

Pípuþvermál	kostn.hlutfall 2/1
Ø 65 (efni 2200 kr/m)	1,68 (3700 kr/m)
Ø 150	0,92
Ø 300	0,35



MYND V-1

Kostnaður við jarð- og pípuvinnu á móti efniskostnaði

x) Verð frá október 1979

Ofanefnd dæmi eru gefin til að gefa hugmynd um skiptingu heildarkostnaðar eins og hann er settur fram í mynd 15.

Heildarkostnaður við lagningu hitaveitulagna er mjög háður aðstæðum og kemur það einkum fram í breytilegum jarðvinnukostnaði og kostnaði við pípulögn (fjöldi tenginga, þverana, brunna o.s.frv.) Ekki er því unnt að gefa út neinar algildar kostnaðartölur. Mynd 15 gefur þó alláreiðanlegar hugmyndir um kostnað fyrir lagnir um óbyggt land. Til að fylgja verðbreytingum má annaðhvort nota nýjustu tölur um efnisverð og hlutfallstölur 2/1 og 3/1 eins og að ofan getur (eða samkvæmt myndV-1) eða að færa kostnað upp með byggingarvísitölu (BVT).