



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

REGLERUNGSSTJÓRASAFN

JARÐVEGSHITUN:

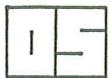
HÖNNUN PÍPUKERFA FYRIR UPPHITADA GARÐA

Grétar Leifsson

Jón Steinar Guðmundsson

GL-JSG-81/04

Ágúst 1981



ORKUSTOFNUN
GRENSÁSVEGI 9, 108 REYKJAVÍK

JARÐVEGSHITUN:

HÖNNUN PÍPUKERFA FYRIR UPPHITADA GARDA

Grétar Leifsson

Jón Steinar Guðmundsson

GL-JSG-81/04

Ágúst 1981

Agrip

Með jarðvegshitun má auka bæði uppskerumagn og fjölbreyttni í útiræktun matjurta ásamt því að minnka líkurnar á uppskerubresti í slæmu árferði. Jarðveginn í matjurtagörðum má hita með því að láta heitt vatn streyma í niðurgröfnum plaströrum. Undanfarin ár hafa verið gerðar mælingar á hitastigsdreifingu í jarðvegi umhverfis heit rör og orkubúskap jarðvegshitunar.

Fundnar hafa verið stærðfræðilegar jöfnur sem leggja má til grundvallar við hönnun pípukerfa í upphitaða garða. Miðað við líkleg gildi á helstu áhri fáþáttum jarðvegshitunar hafa verið útbúnar hönnunarleiðbeiningar fyrir ylræktarráðunauta og tæknimenn. Þessar leiðbeiningar eru settar fram á nokkrum myndum og í texta. Fram kemur að rörin geta verið á 50-90 cm dýpi. Ef notað er 60°C vatn sem kælt er niður í 30°C þá þurfa að vera 80-280 cm á milli röranna fyrir þessi dýpi. Á verðlagi sumarsins 1981 þá kostar jarðvegshitun með plaströrum 8-10 kr/m.

Efnisyfirlit

	Bls.
Ágrip.....	3
Efnisyfirlit.....	4
Töfluskrá.....	5
Myndaskrá.....	5
Listi yfir tákna.....	6
1. Inngangur.....	7
2. Pípulagðir garðar.....	8
3. Lausn á hitastigsdreifingu.....	9
4. Stærðfræðilegar jöfnur.....	10
5. Staðallausn.....	11
6. Hönnun pípukerfis.....	12
6.1 Val á D og L.....	13
6.2 Varmastreyymi á m^2	13
6.3 Vatnsmagn í rörum.....	13
6.4 Pípustærð.....	14
7. Frávik frá staðallausn.....	15
7.1 Varmaleiðnistuðull, k.....	15
7.2 Varmaflutningsstuðull, h.....	16
7.3 Útihitastig, T_u	16
7.4 Útrennslishitastig, $T_{út}$	16
7.5 Mesti mismunur hitastigs á 20 cm dýpi, ΔT_{20}	16
8. Lagning og rekstur kerfis.....	17
9. Kostnaðarþættir.....	18
10. Niðurlag.....	20
Pakkir.....	21
Heimildir.....	21
Töflur.....	23
Myndir.....	24-34
Viðauki A.....	35
Viðauki B.....	37

Töfluskrá

Bls.

1. Kostnaður PEH röra..... 23

Myndaskrá

1. Þversnið af pípukerfi.....	24
2. Rúmmynd af pípukerfi.....	25
3. Hitastigsdreifing í þversniði.....	26
4. L/D sem fall af D fyrir staðallausn.....	27
5. \bar{T}_{20} sem fall af D fyrir staðallausn.....	28
6. L sem fall af D fyrir staðallausn.....	29
7. Varmastreymi á m^2 sem fall af D fyrir staðallausn.....	30
8. Endingartími PEH-röra (Reykjalundur)	31
9. Mesti leyfilegur þrýstingur í PEH-rörum miðað við 10 ára endingu.....	32
10. Þrýstitaslinurit PEH-röra (Reykjalundur)	33
11. Varmaleiðni jarðvegs sem fall af raka- og hitastigi ásamt eðlisþyngd.....	34

Listi yfir tákna

Einingar

b	breidd garðs	m
Bi	Biot-tala $h \cdot D/k$	-
c _p	eðlisvarmi vatns	$\approx 4180 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$
d	utanmál pípu	mm
D	dýpi röra	m
h	varmaflutningsstuðull við yfirborð jarðvegs	$\text{W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$
k	varmaleiðnistuðull jarðvegs	$\text{W/m}^{\circ}\text{C}$
l	lengd garðs	m
L	millibil pípna	m
m	vatnsstreymi	l/s
P	þrýstingur	mVs
s	veggþykkt pípu	mm
T	hitastig	$^{\circ}\text{C}$
q*	einingarlaust varmaflæði frá pípum = $q'' \cdot D/L \cdot k (T_h - T_k)$	-
q"	varmaflæði á m^2	W/m^2
σ	snertispenna	kP/cm^2
ψ	hitastuðull til leiðréttингar á þrýstítapi	-
θ	einingarlaust hitastig = $(T - T_u) / (T_h - T_u)$	-

Skamms tafanir

a	aðveituæð
h	heitari leggur slaufu
inn	innrennslisvatn
k	kaldari leggur slaufu
s	slaufa
t	allur garður
u	útiloft
út	frárennslisvatn
Δ	mismunur
—	meðaltal
20	á 20 cm dýpi
30	á 30 cm dýpi

1. Inngangur

Jarðvegshitun er, eins og nafnið ber með sér, hækjun á hitastigi jarðvegs umfram eðlilegan jarðvegshita miðað við árstíma. Hitunin er framkvæmd með niðurgröfnum pípum sem um fer heitt vatn t.d. jarðhitavatn.

Jarðvegshitun á Íslandi á sér langa forsögu og voru fyrstu tilraunir með hitun og ræktun gerðar fyrir um 100 árum. Að Flúðum í Hrunamannahreppi eru nú hitaðir um 3,5 hektarar af matjurtargörðum með pípum. Elsta pípukerfið er um 4 ára gamalt, en það er hjá Jóhannesi Helgasyni, Hvammi II. Fyrstu athuganir á vegum Orkustofnunar á þessum görðum voru haustið 1979.

Mælingar voru gerðar á garði Jóhannesar, mæld var stærð garðsins og lega röranna, hitastig vatns inn og út úr rörunum og vatnsrennsli. Út frá þessum fyrstu athugunum var greinilegt að ekki væri hægt að búa til hönnunarreglur nema með mjög miklum einföldunum. Sumarið 1980 voru síðan gerðar ítarlegar rannsóknir á hitastigi vatns í pípum og jarðvegi, vatnsrennsli og veðurfari að Hvammi II og görðum við Flúðir. Orkustofnun gerði þessar rannsóknir í samvinnu við Garðyrkjuskóla ríkisins, Búnarðarfélag Íslands/Rannsóknastofnun landbúnaðarins og Veðurstofu Íslands. Helstu mælingar má finna í greinargerð GL-80/01. Þann 9 des. 1980 var haldinn fundur á vegum Orkustofnunar um efnið "Nýting jarðhita í garðyrkju", og var góð mæting og greinilega mikill áhugi á þessum þætti lághitaorkunýtingar. Í ráði er að gefa út þá fyrirlestra sem fluttir voru, alls níu talsins. Vorið 1981 vann annar höfunda (GL) lokaverkefni við Háskóla Íslands um jarðvegshitun. Verkefnið fjallaði um það hvernig einstakir þættir hafa áhrif á hitastig og orkubúskap jarðvegshitunar. Núverandi greinargerð kemur því sem beint framhald af því verkefni.

Hvers vegna jarðvegshitun:

1. Kjörhitastig flestra grænmetisjurta liggur í kringum 25°C. Hitastig jarðvegs á Íslandi getur hinsvegar ekki orðið hærra en meðalhiti heitustu sumarmánuða eða um 11°C. Með jarvegshitastigi á rótarsvæði plantnanna nær kjörhita mætti því fá hraðari vöxt og meiri uppskeru.
2. Garðar með jarðvegshitun geta orðið frostlausir fyrr heldur en venjulegir kálgarðar. Þar sem lofhithi og birtuskilyrði á vormánuðum leyfa ræktun, mætti því byrja sáningu og plöntun fyrr

en ella og lengja því vaxtartímabil plantnanna. Með lengra vaxtartímabili fæst meira öryggi í ræktunina og möguleikar á ræktun nýrra tegunda og afbrigða.

2. Pípulagðir garðar

Hægt er að leggja pípukerfi í kálgarða á marga vegu. Agætt fyrirkomulag til að fá jafna hitastigsdreifingu í jarðveginum, er að leggja rörin á jöfnu dýpi með jöfnu millibili, þannig að þau liggi samsíða eftir lengd garðsins. Síðan eru tvö og tvö rör tengd saman við annan enda garðsins, þannig að fyrst rennur vatnið upp eftir garðinum og snýr síðan við og rennur til baka og út á sama stað og það kom inn. Nánar má sjá fyrirkomulag pípukerfis á myndum 1 og 2.

Agætt er að nota sem röraefni svört PEH plaströr. Helstur kostir plaströra umfram önnur efni eru:

1. Tærast ekki af hveravatni
2. Fást í allt að 200 m rúllu, efnið er auðvelt í flutningum og lagningu og tengingarkostnaður er í lágmarki.
3. Hafa engin mengunaráhrif á jarðveginn.
4. Ódýr.
5. Tækni til staðar að plægja rörin niður við vissar aðstæður.

Helsti ókostur PEH-plaströra er:

1. Þola illa mikinn hita og þrýsting, sem kemur fram í minni endingu.

Við lagningu röranna hefur aðallega verið stuðst við tvær aðferðir.

Fyrstu kerfin voru plægð niður með ýtuplóg. Fyrir aftan plógin var pípan í rúllugálga og var síðan lögð í plógfarið og jafnóðum rutt yfir plógfarið. Þessi aðferð var seinleg og oft erfið í framkvæmd vegna umfangs tækjanna. Úlafar Harðarson að Flúðum þróaði þessa aðferð.

Nú hefur Úlfar keypt til landsins tvær keðjugrōfur sem reynst hafa fljótvirkari en að plægja rörin niður. Keðjugrafan grefur fyrst skurð um 20 cm, en síðan er pípan lögð í heilu lagi ofan í skurðinn. Hægt er að hafa skurðinn allt að 120 cm djúpan. Ef bil milli skurða er 120 til 300 cm þá getur grafan mokað ofaní skurð við hliðina á þeim sem hún er að grafa.

3. Lausn á hitastigsdreifingu

Þeir þættir sem hafa áhrif á hitastigsdreifingu í þversniði jarðvegs fyrir ofan rörin eru: lofthiti, hiti í heitum (fram) og köldum (til baka) legg þípu, varmaflutningsstuðull við yfirborð, varmaleiðni jarðvegsins og dýpi og millibil röra. Til þess að finna hitastigsdreifinguna var nauðsynlegt að gera vissar nálganir á verkefninu. Helstu forsendur eru þessar:

1. Varmaleiðnistuðull, k er fastur (konstant) og eins allsstaðar í þversniði. Í reynd er varmaleiðnisstuðullinn breytilegur og er fall af t.d. raka- og hitastigi á hverjum stað. Þegar jarðvegurinn er hitaður streymir raki frá jarveginum kringum pipurnar til yfirborsins. Síðan bætist við raki vegna úrkomu og vökvunar. Á þessu má sjá að rakastig í jarðveginum er breytilegt frá einum stað til annars. Raunverulegur jarðvegur er aldrei einsleitur (homogen) og breytist varmaleiðnin því vegna mismunandi kornastærðar, efnisgerðar ásamt stærðar og lögunnar loftrúma.
2. Varmaleiðnisstuðull, h er fastur (konstant) og jafn við allt yfirborðið. Í reynd er þessi varmaflutningsstuðull breytilegur og breytist með t.d. vindhraða og hitastigmismunar yfirborðs og útilofts.
3. Útihitastig, T_u er fast. Þetta gildir þó ekki í raun þar sem útihihi breytist með tíma dags og árstíma. Vegna þess að jörðin dempar hita sveiflur mjög fljótt er þetta talið réttlætanlegt, yrði því útihitastig t.d. meðalhiti mánaðar.
4. Stöðugt hitastigsástand er í þversniði jarðvegs. Þetta er réttlætanlegt þar sem mælingar sumarið 1980 sýndu litlar eða mjög dempaðar breyttingar á hitastigi bæði í jarvegi og vatni.
5. Gert er ráð fyrir að í jarðveginum séu mjög margar pipur samsíða þannig að engin endaáhrif koma fram. Hitastigsdreifing fyrir ofan pipurnar verður því samhverf (symmetrisk) um lóðlinu hverrar pipu. Þetta þýðir að ekkert varmastreymi er þvert á lóðlinu hverrar pipu. Nánar má sjá hitastigsdreifingu á mynd 3.

6. Nettóvarmaflutningur hornrétt á þversniðið (eftir pípum) er enginn.

7. Á 4 m dýpi er stöðugt hitastig (konstant) og er það jafnt meðalhita ársins. Hér er hitastigið sett fast 5°C .

4. Stærðfræðilegar jöfnur

Út frá þeim skilyrðum og nálgunum, sem settar eru fram í kafla 3, má leysa verkefnið með aðferð endanlegra mismuna (finite difference). Gert var tölvuforrit sem finnur hitastigs dreifingu og varmaflutning út frá gefnum áhrifabáttum. Til þess að einfalda úrvinnslu á keyrslum voru notaðar eftirfarandi einingarlausar stærðir:

$$Bi = h \cdot D / k$$

$$\theta_k = (T_k - T_u) / (T_h - T_u)$$

$$q^* = q'' \cdot D / (L \cdot k (T_h - T_u)) \quad (1)$$

Forritið var keyrt fyrir mismunandi gildi á líklegum stærðum, alls 36 keyrslur fyrir:

$$Bi = 2,5, 5, 10$$

$$\theta_k = 0,25, 0,5, 0,75, 1,0$$

$$L/D = 1,2, 2,0, 4,0$$

Með athugunum var fundið hvernig hitastigs dreifing og varmaflæði breyttust þegar öllum áhrifabáttum nema einum var haldið föstum. Út frá þessum athugunum fengust eftirfarandi jöfnur:

Einingarlaust varmastreymi frá pípum

$$q^* = (1 + \theta_k) ((-0,065 + 0,535 (L/D)^{-1}) + (-0,019 + 0,098 (L/D)^{-1}) \ln(1+Bi)) \cdot 0,6/D \quad (2)$$

Einingarlaust meðalhitastig á 20 cm dýpi

$$\bar{\theta}_{20} = 0,0024 (0,604 + (L/D)^{-1}) (1,015 + \theta_k) (27,727 - Bi) (0,5 + D^{-1}) \quad (3)$$

Einingarlaust meðalhitastig á 30 cm dýpi

$$\bar{\theta}_{30} = 0,0023 (0,620 + (L/D)^{-1}) (1,017 + \theta_k) (41 - Bi) (0,213 + D^{-1}) \quad (4)$$

Einingarlaus mesti mismunur á hitastigum á 20 cm dýpi

$$\Delta\theta_{20} = 5,616 \cdot 10^{-4} (1,386 - \theta_k) (138 - Bi) (L/D - 0,745) (D^{-1} - 0,559) \quad (5)$$

Þessar jöfnur gilda innan markanna:

$$\begin{aligned} 2,5 &\leq Bi \leq 10 \\ 1,2 &\leq L/D \leq 4 \\ 0,25 &\leq \theta_k \leq 1,0 \\ 0,3 &\leq D \leq 0,9 \end{aligned}$$

Jöfnur (2), (3) og (4) má nota með 4-5% meðalfráviki, en jafna (5) er nokkuð síðri.

5. Staðallausn

Staðallausn er sú lausn sem byggir á föstum, líklegum gildum nokkurra áhrifapáttta. Ef litið er á jöfnur (2) til (5) þá sést að jöfnurnar eru fall af 7 óþekktum stærðum. Til þess að búa til einfaldar og aðgengilegar hönnunarreglur mætti festa ákveðin gildi og fækka þannig óþekktum stærðum.

1. $T_u = 8^\circ C$

Útihitastig er valið sem meðalhiti þeirra daga sem upphitunin hefst, þ.e. á vormánuðum.

2. $h = 8 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ C$

Skv. heimild (1) þá fékkst með samanburði mælinga að Flúðum sumarið 1980 og tölvuforrits, að varmaflutningsstuðullinn væri $h = 7 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ C$. Einnig fékkst skv. reynslujöfnum (empíriskum) að h væri á bilinu $7,4$ til $8,5 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ C$.

3. $k = 1 \text{ W/m}^\circ C$

Skv. heimild (1) þá fékkst með samanburði mælinga að Flúðum sumarið 1980 við tölvuforrit, að varmaleiðnistuðullinn væri $k = 0,85 \text{ W/m}^\circ C$. Áður hefur komið fram að k væri háð t.d. rakastigi og gerð jarðvegs. Almennt mætti segja að við 30% rakastig (cm^3/cm^3) þá væri jarðvegur búin að ná hámarksgildi á k . Við Flúðir mældist rakastig jarðvegs í upphituðum garði að Hvammi II vera um 38% (Hreinn Hjartarson '80). Var talið að þessi garður væri þurrari en almennt gerist í görðum hérlandis. Heimild (3) gefur að mold og leirkendur jarðvegur hafi $k = 1,45$ til $2,0 \text{ W/m }^\circ C$ ($1500-2000 \text{ kg/m}^3$). Með tilliti til þessa

og því að búast má við að hitaðir garðar verði þurrari en venjulegir garðar þá var valið $k = 1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

4. $T_{\text{út}} = 30^\circ\text{C}$

Þetta er valið á þeim forsendum að venjulegir varmaskiptar geti náð að nýta vatnið allt að 20°C yfir umhverfishita en hann er mest um 10°C yfir sumarið. Til að kanna hvernig hugsanleg breyting verður á hönnun ef $T_{\text{út}}$ breytist er einnig tekinn með möguleiki á $T_{\text{út}} = 40^\circ\text{C}$ fyrir $T_{\text{inn}} = 90^\circ\text{C}$ og $T_{\text{út}} = 20^\circ\text{C}$ fyrir $T_{\text{inn}} = 50^\circ\text{C}$.

5. $\Delta T_{20} \leq 5^\circ\text{C}$

Mikilvægt er að hafa jafna hitastigs dreifingu í garðinum þannig að yfir heitu röri og milli röra verði ekki of mikill munur þannig að erfitt verði að stjórna hitastigi í jarðveginum.

Hér á undan hafa verið festir 4 áhrifapættir ásamt einni takmörkun á jöfnu (5). Ef ákveðið væri hitastig inn í garðinn á bilinu $T_{\text{inn}} = 50-90^\circ\text{C}$ þá mætti finna skv. jöfnu (5) samband milli dýpis, D og hlutfallsins, L/D . Þetta er gert með því að stinga hinum 5 þekktu stærðum (T_{inn} , $T_{\text{út}}$, T_u , k og h) ásamt takmörkuninni á ΔT_{20} , inn í jöfnu (5). Nú má finna samband D og L/D fyrir mismunandi T_{inn} og $T_{\text{út}}$. Þessi sambönd hafa verið teiknuð á mynd 4. Greinilegt er á mynd 4 að því dýpra sem rörin fara því lengra má hafa milli pípnannna.

6. Hönnun pípukerfis

Við hönnun pípukerfis er nauðsynlegt að ákveða hvaða meðalhitastig er æskilegast að hafa á 20 cm dýpi þ.e. \bar{T}_{20} . Þetta hitastig er því ákveðið af notanda (garðyrkjubóna) og miðast væntanlega við þá ræktun sem er ráðgerð. Kjörhitastig flestra plantna er á milli 20 og 30°C , og dregur úr vaxtarhraða þeirra ef hitinn fer yfir eða undir kjörhita.

Nú mætti taka jöfnu (3) og stinga inn í hana hinum fimm þekktu stærðum ($T_{\text{út}}$, T_{inn} , T_u , h og k) ásamt því sambandi sem fékkst milli D og L/D , sem er teiknað á mynd 4. Nú má finna með jöfnu (3) \bar{T}_{20} fyrir mismunandi gildi á D og hefur það samband verið teiknað upp á mynd 5. Eins

og á mynd 4 hefur verið gert ráð fyrir mismunandi möguleikum á T_{inn} og $T_{út}$, og við hönnun pípukerfis þá verður T_{inn} að vera þekkt og á bilinu 50°C til 90°C . Það skal athugast að myndir 4 og 5 eiga við staðallausn sbr. kafla 5 og ef forsendur breytast eitthvað þá er nauðsynlegt að gera viðeigandi ráðstafanir og verður fjallað um það síðar.

6.1 Val á D og L

Þegar ákveða á D og L, verður notandi (garðyrkjubóndi) að vera búinn að ákveða T_{inn} og \bar{T}_{20} . Síðan er farið inn í mynd 5 á viðeigandi stað og má því lesa D af láréttu ásnum. Þegar búið er að velja dýpið þá er farið inn í mynd 6 og fundið L á lóðréttu ásnum. Mynd 6 er reiknuð út frá mynd 4 sem gefur samband D og L/D .

6.2 Varmastreymi á m^2

Nú þegar D og L hafa verið ákvörðuð má reikna einingarlaust varmastreymi fyrir staðallausn skv. jöfnu (2). Taka má jöfnu (1) og umbreyta henni og þá fæst:

$$q'' = q^* \cdot k \cdot L \cdot (T_{inn} - T_u) / D \quad (6)$$

Má því reikna varmastreymi á m^2 fyrir staðallausn og þau gildi sem hafa verið ákveðin í kafla 6.1. Reiknað hefur verið q'' fyrir staðallausn sem fall af D sem var valið í kafla 6.1 og er það samband teiknað á mynd 7. Þegar ákvarða á varmastreymi á m^2 er því farið inn á mynd 7 fyrir það D sem valið var í kafla 6.1 og síðan má lesa q'' út af lóðréttu ásnum.

6.3 Vatnsmagn í rörum

Nú þegar q'' hefur verið valið má reikna nauðsynlegt vatnsmagn til þess að ná því að hita upp garð sem hefur flatarmálið $l \cdot b$ með jöfnunni

$$\dot{m}_t = \frac{q'' \cdot l \cdot b}{c_p \cdot (T_{inn} - T_{út})} \quad (7)$$

þar sem

$$c_p \approx 4180 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$$

Nauðsynlegt vatnsmagn fyrir aðeins eina slaufu má finna með jöfnunni

$$\dot{m}_s = \frac{q'' \cdot 2 \cdot l \cdot L}{c_p \cdot (T_{inn} - T_{út})} \quad (8)$$

6.4 Pípustærð

Komin er um 4 ára reynsla á notkun PEH plaströra í pípulögðum garði hjá Jóhannesi Helgasyni, Hvammi II. Rörin virðast þola allt að 90°C heitt vatn við lágan þrýsting, um 2 mVs. Ending röranna ræðst af samsplili hita og þrýstings, og almennt má segja að því heitara sem vatnið er við sama þrýsting, því styttra endast rörin. Einnig væri hægt að nota PEX pípur og myndu þær þola háan hita og þrýsting án þess að ending þeirra sé í hættu. Hinsvegar þá eru PEX rör um 3-4 sinnum dýrarí en PEH rör. Ef notuð eru PEH rör þá verður að gæta þess að mesti þrýstingur í pípum, þ.e. við inntak, fari ekki yfir leyfileg mörk. Ef miðað er við að nái 10 ára endingu á rörnum þá má lesa út frá mynd 8 snertispennu í rörnum við hitastig frá 40°C til 80°C . Síðan mætti reikna samsvarandi leyfilegan þrýsting með jöfnunni

$$P = \frac{2 \cdot s}{d-s} \cdot \sigma \quad \text{kp/cm}^2 \quad (9)$$

Á mynd 9 er síðan teiknað samband milli mesta leyfilegs þrýstings og hitastigs á vatni miðað við mismunandi pípustærðir. Eins og sést á mynd 9 minnkar leyfilegur þrýstingur mjög hratt við aukinn hita og við 80°C er ekki óhætt að hafa meiri þrýsting en 8-16 mVs.

Þvermál pípu er síðan valið þannig að byrjað er að velja grennstu pípustærðina og reiknað út þrýstítap í henni. Auðveldast er að nota mynd 10 til þess að finna þrýstítapið, en mynd 10 gefur þrýstítap fyrir mismunandi sverleika af PEH pípum sem fall af vatnsrennsli í pípum. Farið er inn á láréttan ás línum íslensks með reiknað vatnsmagn í einni slaufu, m_s . Síðan er lesið þrýstítapið ΔP_s á lóðréttu ásnum þar sem lína fyrir vatnsmagn sker línu fyrir valda pípustærð. Á sama hátt má finna þrýstítap fyrir aðveituæð. Valin er hæfilega sver pípa og farið er inn á mynd 10 með vatnsmagn fyrir allan garðinn, m_t og þrýstítapið lesið af lóðréttu ásnum, ΔP_t . Þar sem þrýstítapið er miðað við 20°C og 100 m langt rör, er nauðsynlegt að gera leiðrétttingar vegna þessa. Leiðréttingu vegna hitastigs má finna á mynd 10. Þar er gefinn hitastuðull, ψ sem fall af hitastigi vatns í pípu. Því hærra sem hitastigið verður því lægri verður ψ . Til þess að fá leiðrétt þrýstítap er þrýstítap

skv. línuriti margfaldað með þessum stuðli sem er um 0,8-0,9. Leiðréttingu vegna lengdar má gera þannig, að margfaldað er með heildarlengd rörs í m og síðan deilt með 100 m. Heildarþrýstingstap í beinum leiðslum er því

$$\Delta P = \psi_s \cdot \frac{2 \cdot 1}{100} \cdot \Delta P_s + \psi_a \cdot \frac{1_a}{100} \cdot \Delta P_a \quad (10)$$

Til viðbótar má einnig gera ráð fyrir þrýstitapi í lokum og tengistykjum t.d. 10%. Þegar búið er að finna þrýstingsfallið þá er athugað í fyrsta lagi hvort þrýstifallið er of mikið skv. mynd 9 þannig að pípurnar myndu ekki þola álagið og í öðru lagi að upphafsprýstingur kerfisins (hæðarmismunur fyrir sjálfreynsli eða dæluþrýstingur) sé nægjanlegur. Ef þrýstingsfallið, ΔP er of mikið þá verður að velja sverari pípur, sem hafa minna þrýstingsfall. Einig mætti athuga hvort ekki sé hentugt að dæla vatninu í gegnum rörin, svo framarlega að dæluþrýstingur sé innan leyfilegra marka. Ekki er hægt að gefa neinar reglur um stærð og lengd röra, eða hvort það sé betra að nota dælu eða stærri pípur, heldur verður að reikna slikt út í hverju tilviki fyrir sig.

7. Frávik frá staðallausn

Þær hönnunarleiðbeiningar, sem gefnar eru í kafla 6, eru miðaðar við föst gildi á $k = 1 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, $h = 8 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_u = 8^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{út}} = 30^{\circ}\text{C}$ og $\Delta T_{20} \leq 5^{\circ}\text{C}$.

Ef nú þessar forsendur breytast þá gilda hönnunarleiðbeiningarnar ekki lengur og yrði því að gera ráðstafanir til leiðréttингар. Miklvægt er að gera sér grein fyrir hvaða áhrif breytingar kunna að hafa og reyna þá að leiðréttta þannig að lausnin sé ávallt öruggu megin. Öll frávik frá staðallausn má reikna með jöfnum (1) til (5) en þó innan þess spans sem þær eru gefnar fyrir.

7.1 Varmaleiðnistuðull, k

Í kafla 4 er gerð grein fyrir því hvaða þættir hafa áhrif á varmaleiðnistuðulinn. Fyrir venjulegan jarðveg sýnir mynd 11 hvernig varmaleiðni breytist með raka- og hitastigi ásamt eðlisþyngd (L. Boersma ofl. 1974). Greinilegt er að ef rakastig jarðvegs fellur undir um 20% þá minnkar varmaleiðnin fljótt. Ef ástæða er til að ætla að jarðvegur og veðurskilyrði séu þannig að jarðvegurinn verði mjög þurr eða blautur, verður

að gera ráðstafanir vegna þessa. Almennt má segja að lægri varmaleiðni valdi lægra hitastigi og varmaflæði, og hærri varmaleiðni valdi hærra hitastigi og varmaflæði. Vætanlega má búast við $k = 0,5-1,5 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ fyrir venjulegan jarðveg í görðum.

7.2 Varmaflutningsstuðull, h

í kafla 4 er gert grein fyrir því hverju varmaflutningsstuðullinn er háður. Ef búast má við miklum vindhraða vegna lélegra skjólbelta eða staðsetningu garðs, þá hækkar varmaflutningsstuðullinn. Hækjun á varmaflutningsstuðli veldur lækkun á hitastigi og hækjun á varmaflæði, lækkun á varmaflutningsstuðli veldur hækjun á hitastigi og lækkun á varmaflæði. Venjulega má búast við að $h = 7-15 \text{ W/m}^2\text{C}$

7.3 Útihitastig, T_u

Útihitastig er meðalhiti mánaðarins. Breytingar á útihitita geta verið vegna þess að meðalhiti vormánaða er annar eða að notandi (garðyrkjubóni) vill sjá hvert hitastigið verður í heitasta mánuði. Ef útihitastig hækkar, hækkar hitastig og varmaflæði minnkar, og ef útihitastig lækkar, lækkar hitastig og dregur úr varmaflæði. Almennt má segja að hækjun/lækkun á útihitastigi um 1°C veldur sömu hækjun/lækkun á hitastigi jarðvegs á 20 cm dýpi. Hinsvegar ef nota á jarðvegshítun í gróðurhúsi þar sem hitastigið er all miklu hærra, t.d. 20°C , verður að útbúa nýjar hönnunarreglugr.

7.4 Útrennslishitastig, T_{ut}

Breytingar á útrennslishitastigi geta orsakast af breytingum á vantsrennsli og breytingum á öðrum áhrifapáttum. Hækjun á frárennslishita veldur hækjun á hitastigi og varmaflæði. Nú mætti spyrja hvort stjórna megi kerfinu með vatnsrennsli, þ.e. meira vatnsrennsli, hærri útrennslishitastig og því hækjun á hitastigi jarðvegs. Þetta er að vissu leyti rétt en það kostar aukið vatnsmagn þar sem hitafall vatnsins minnkar. Í reynd verður slíkt kerfi óhagkvæmt og væri betra að breyta öðrum áhrifapáttum strax í byrjun.

7.5 Mesti mismunur hitastigs á 20 cm dýpi, ΔT_{20}

Ef notandi telur ekki ástæðu til þess að hafa jafna hitastigsdreifingu þá myndi rýmkun á $\Delta T_{20} \leq 5^{\circ}\text{C}$ valda því að pípurnar mættu færast fjar

hvor annari. Þetta myndi hinsvegar valda lækkun á hitastigi og varmaflæði.

8. Lagning og rekstur kerfis

Ágæt aðferð er að nota keðjugröfu við lagningu röra. Best er að geta látið gröfuna ryðja ofaní næsta eða þar næsta skurð við hliðina á þeim sem er verið að grafa í hvert skipti. Best er að garðar séu langir og nauðsynlegt er að hafa um 10 m pláss við enda garðsins svo að grafan geti snúið við.

Ekki er ráðlagt að hafa rörin grynnra en 50 cm af hættu á því að tætari eyðileggi rör, en góður tætari getur hæglega farið niður á 35 cm dýpi. Einnig er nauðsynlegt að hafa rörin örlítið dýpra til öryggis m.a. vegna óvissu í lagningu og þess að rörin geta lyfst örlítið vegna hitaþenslu.

Hitaþensla PEH röra er $0,15 \text{ mm/m}^{\circ}\text{C}$. Sem dæmi um hitaþenslu mætti taka 100 m lagt rör sem lagt er við 10°C og hitað upp í 80°C . Þetta rör myndi lengjast um

$$0,15 \cdot 100 \cdot (80-10) = 1050 \text{ mm} \approx 1 \text{ m}$$

Hér er því nauðsynlegt að gera ráð fyrir einhverjum lengingarmöguleikum við enda garðsins.

Greiningu frá aðveituæð inn í garðinn er best að hafa með fyrirkomulagi eins og sýnt er á mynd 2. Er þar um að ræða té, nippilhólk, tengi fyrir plast í járn og renniloká. Rennilokinn er nauðsynlegur til að geta stjórnað rennsli um einstakar slaufur og jafnvel skrúfað fyrir þær ef bilun verður. Nota skal tengistykki sem sérstaklega eru ætluð fyrir PEH rör og varast að nota t.d. hosuklemmur og vírvafninga ef mögulegt er og losna þannig við þá áhættu sem slitið tengi hefur í för með sér.

Við lagningu skal gæta þess að rörin liggi ekki utan í egghvössu grjóti eða rispist. Ekki er óhætt að beygja rör meira en svo að radíus beygjunnar verði $15 \times \text{þvermál rörs}$.

Eftirað rör hafa verið lögð tekur u.p.b. einn mánuð fyrir garð að ná stöðugu hitastigi. Að sama skapi tekur langan tíma fyrir jarðveginn að kólna eftir að slökkt hefur verið á vatnsrennsli. Fyrstu vikuna fellur hitastigið mest um 0,5 til 1°C á dag en síðan hægar og eftir u.p.b. mánuð hefur jarðvegur náð umhverfishita.

Ef slökkt er á kerfi á haustin þá gæti frosið í lögnum ef ekkert rennsli væri um rörin um veturinn. Þetta tefur fyrir gangsetningu á vorin og gæti jafnvel eyðilagt rörin. Á veturna er tilvalið að hafa eitthvað rennsli um kerfið t.d. af íbúðar- eða gróðurhúsi. Garðurinn myndi því vera frostlaus um veturinn og síðan má setja fullt rennsli á kerfið um einum mánuði áður en sáning eða útplöntun á að fara fram.

9. Kostnaðarbættir

Stofnkostnaður jarðvegshítunarkerfis er fólginn í pípun, greftri á skurðum, tengistykjum, lokum, dælu o.fl.

Kostnaður vegna PEH plaströra er miðaður við verð á rörum sem Reykjalundur gefur upp í ágúst 1981. Verð fyrir helstu pípustærðir má sjá í töflu 1. Nauðsynlegt er að reikna út hvaða rörastærð hentar best, sbr. kafli 6.4. Vætanlega hentar í flestum tilvikum að nota 20 mm pípur, sem kosta um 3,90 kr/m.

Kostnaður vegna tenginga er aðallega vegna greiningar frá aðveituæð inn í garðinn, sbr. mynd 2. Sem dæmi má taka 40 mm aðveituæð og 20 mm rör í garði. Nota þyrfti 40 mm té, 20 mm tengi fyrir plast í járn, 1 1/4" • 1 1/2" nippilhólk og 1/2" renniloka. Heildarkostnaður við þessa tengingu yrði skv. söluaðilum í Rvk. um 200 kr (kostnaður í ágúst 1981). Hægt væri að hafa greininguna grennri og þar af leiðandi ódýrari, en nauðsynlegt er þó að reikna út þrýstifall sérstaklega fyrir hvert tilvik.

Kostnaður vegna graftar á skurðum fékkst uppgefinn hjá Úlfari Harðarsyni (22-07-81) og er þá miðað við að notuð sé keðjugrafa sbr. kafla 8. Kostnaður fyrir keðjugröfu í mokstri á beinum skurði er um 1 kr/m. Grafa tefst hinsvegar við lagningu röra og tengingu skurða við enda garðsins og hækkar kostnaður við það. Heildarkostnaður við skurðgröft gæti því orðið um 2-3 kr/m fyrir góðar aðstæður. Hinsvegar fyrir verulegar slæmar aðstæður, t.d. stuttan garð og klaki og grjót í jörðu, gæti kostnaður orðið allt að 5 kr/m.

Hugsanlegur stofnkostnaður vegna dælu gæti orðið um 1000-3000 kr, hins vegar getur kostnaður vegna rafmagnskapals orðið verulegur ef dæla er staðsett langt frá húsum.

Annar stofnkostnaður getur falist í hita- og þrýstingsmælum, lokum o.fl. Ekki er hér gert ráð fyrir kostnaði vegna sjálfvirks stjórnubúnaðar fyrir þessi kerfi, en ekkert er til fyrirstöðu að nota t.d. mótorloka til stjórnunar á hitastigi jarðvegs eða hitastigi vatns í pípum.

Lauslega áætlað mætti segja að kostnaður við jarðvegshítunarkerfi, þ.e. efni og vinnu væri minnst um 8 kr/m, en líklegast um 10 kr/m.

Þegar tekin skal ákvörðun um það hvort fjárfesta á í jarðvegshítunarkerfi er nauðsynlegt að gera sér grein fyrir kostnaði og tekjum fyrir slikt kerfi. Taka má einfaldað dæmi til skýringar, þar sem helstu forsendur eru:

1. Vatnið er ókeypis, þ.e. notað er frárennslisvatn af gróðurhúsi eða annað ónotað jarðhitavatn.
2. Stofnkostnaður pípukerfis er 10 kr/m.
3. Millibil pípna L = 1 m.
4. Ræktað er hvítkál með 40 x 60 cm millibili.
5. Meðalþyngd hvítkálshauss er 800 gr.
6. Meðalverð á hvítkáli til garðyrkjubóna er 10 kr/kg.
7. Kerfið borgar sig upp á 2 árum.

Samkvæmt þessum forsendum er stofnkostnaður pípukerfisins því $10 \text{ kr}/\text{m}^2$ og uppskeran $3,3 \text{ kg}/\text{m}^2$. Til þess að kerfið borgi sig upp á tveimur árum þarf uppskeruaukningin (vegna aukins jarðvegshita) að vera um 15%, eða að garðyrkjubóndinn fái 1,5 kr meira fyrir hvert kíló af hvítkáli. Að sjálfsögðu mætti taka fyrir aðrar tegundir grænmetis og einnig að taka vatnskostnað með í reikninginn. Þó svo að setja megi svona dæmi upp til glöggvunar þá er ekki hægt að meta það öryggi sem jarðvegshítun getur gefið í hörðu árferði.

10. Niðurlag

Tilgangurinn með þessari greinargerð er sá að ráðunautar og tæknimenn fái haldgóðar leiðbeiningar til þess að hanna jarðvegshitunarkerfi, þ.e. hitastigsdreifingu og orkubúskap í pípulögðum matjurtagörðum. Leiðbeiningarnar miðast við það hitastig sem garðyrkjubóni vill hafa í sínum garði. Í greinargerðinni er engin afstaða tekin til þess hvað sé æskilegt hitastig til að ná sem bestum árangri í ræktun matjurta. Það hitastig sem líklegt er til að gefa mesta uppskeru þarf ekki endilega að vera það hagkvæmasta m.t.t. stofnkostnaðar og reksturs kerfisins, jurtasjúkdóma, áburðargjafar o.fl. Þessi atriði þarf að athuga sérstaklega á næstu árum, m.a. hvað sé kjörhitastig hinna ýmsu matjurta.

Þessar leiðbeiningar eiga við ákveðna tegund kerfis fyrir viss stöðluð skilyrði. Ef aöstæður eru hinsvegar þannig, að þessi ákveðna tegund kerfis þykir ekki henta þarf að breyta leiðbeiningunum. Miklilvægt er á næstu árum að endurskoða leiðbeiningarnar í ljósi þeirrar reynslu sem fæst af notkun þeirra. Því er nauðsynlegt að garðyrkjubændur fylgist vel með hitastigi o.fl. í pípulögðum görðum til þess að sjá hvað betur mætti fara.

Margir óvissupbættir eru enn til staðar við jarðvegshitun og hönnun píplagðra garða. Sem dæmi mætti nefna varmaleiðnistuðul jarðvegs og útrennslishitastig vatns í slaufum. Við upphitun þá streymir raki frá þeim jarðvegi er umlykur pípurnar og við það minnkar leiðni jarðvegsins stöðugt. Ekki er því útilokað að utan um hvert rör myndist þurr einangrandi kápa þannig að varmaleiðnistuðullinn minnki. Þetta hefði e.t.v. í för með sér lækkun á hitastigi í jarðveginum og lélega orkunýtni kerfisins. Lausn á þessu vandamáli gæti verið að leggja götóttar pípur um leið og sjálft hitunarkerfið er lagt. Þessar götóttu pípur myndu vera neðanjarðar vökvunarkerfi sem héldi um leið góðri varmaleiðni í jarðveginum.

Útrennslishitastig vatns var ákveðið 30°C í staðallausn. Þegar rörin færast nær hvoru öðru, þá gæti heitari leggur slaufi haft áhrif til þess að hita kaldari legginn. Þetta gæti orðið til þess að vatnið næði ekki að kólna eins mikið og til er ætlast. Sérstaklega á þetta við um hátt innrennslishitastig, t.d. $80-90^{\circ}\text{C}$.

Jarðvegshitunarkerfi er mjög stöðugt m.t.t. hitastigs og gerir lítið til þó að vatnsrennsli sé sveiflukennt. Vegna stöðugleikans ætti að vera auðvelt að stjórna kefinu.

Mikilvægt er að hafa góð skjólbelti en þau hafa áhrif til hækunar hitastigs og vegna minni kælingar við yfirborð og vinna þannig með jarðvegshituninni.

Að lokum má benda á að jarðvegshitun er ekki einugis bundin við ræktun matjurta, heldur gæti hún hentað fyrir t.d. fótboltavelli, gróðurhús, frostvörn og snjóbræðslu.

Pakkir

Við viljum þakka öllum þeim sem hafa starfað með okkur að lausn þessa verkefnis, bæði gærðyrkjubændum og sérfræðingum stofnana.

Heimildaskrá

1. Grétar Leifsson, 1981: Jarðvegshitun. Lokaverkefni við Verkfræði- og raunvísindadeild Háskóla Íslands.
2. Hreinn Hjartarsson, 1980: Veðurfar og garðyrkja á Íslandi. Ráðstefna "Garðyrkja við nýtingu jarðhita", 9. des. 1980. Orkustofnun.
3. Guðmundur Halldórsson og Jón Sigurjónsson, 1978: Einangrun húsa. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins.
4. L. Boersma o.fl., nóv. 1974: A system analysis of the economic utilization of warm water discharge from power generating stations. Oregon State University, Corvallis.
5. Grétar Leifsson, 1981: Jarðvegshitun: Fundin jafna fyrir $\Delta\theta_{20}$. Orkustofnun GL-81/01.
6. Grétar Leifsson, 1981: Jarðvegshitun - Mælingar að Reykjum Ölfusi 1981. Orkustofnun, GL-81/02.
7. Grétar Leifsson, 1981: Jarðvegshitun - Mælingar að Flúðum 1981. Orkustofnun GL-81/03.
8. Grétar Leifsson, 1980: Jarðvegshitun - Mælingar sumarið 1980. Orkustofnun GL-80/01.

9. Jón Steinar Guðmundsson, 1979: Jarðvegshlutun - Mælingar á rennsli
og hitastigi í kálgarði að Hvammi við Flúðir. Orkustofnun.

TAFLA 1

Kostnaður PEH plaströra skv. verðskrá Reykjalundar í ágúst 1981.

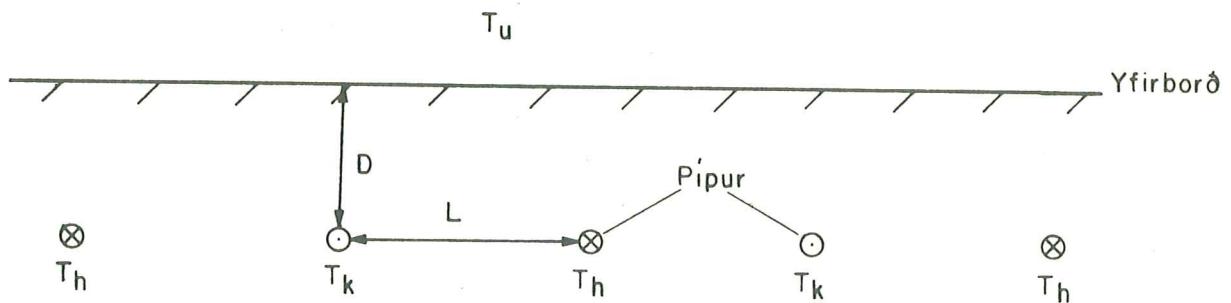
Utanmál (mm)	Tommumál (")	Verð * (kr/m)
20	1/2	3,90
25	3/4	4,51
32	1	5,92
40	1 1/4	8,48
50	1 1/2	11,59
63	2	14,64

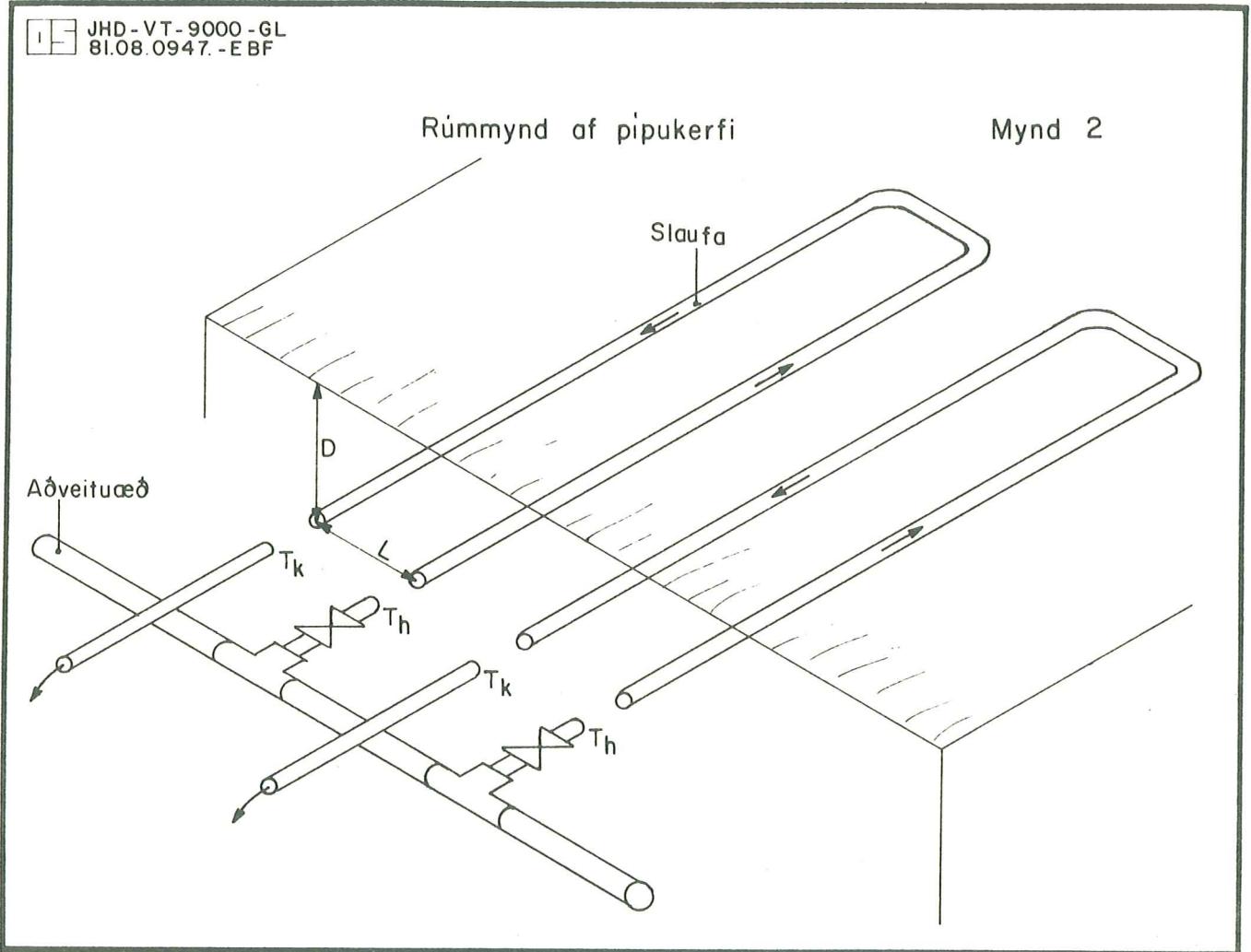
* Með söluskatti

JHD - VT-9000 - GL
81.08.0946 - EBF

Þversnið af pipukerfi

Mynd 1

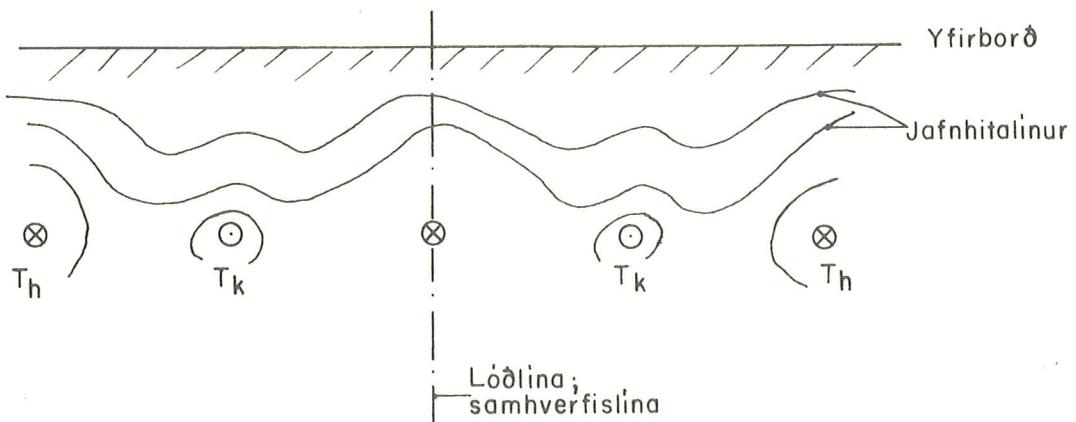




JHD - VT-9000 - GL
81.08.0948. - EBF

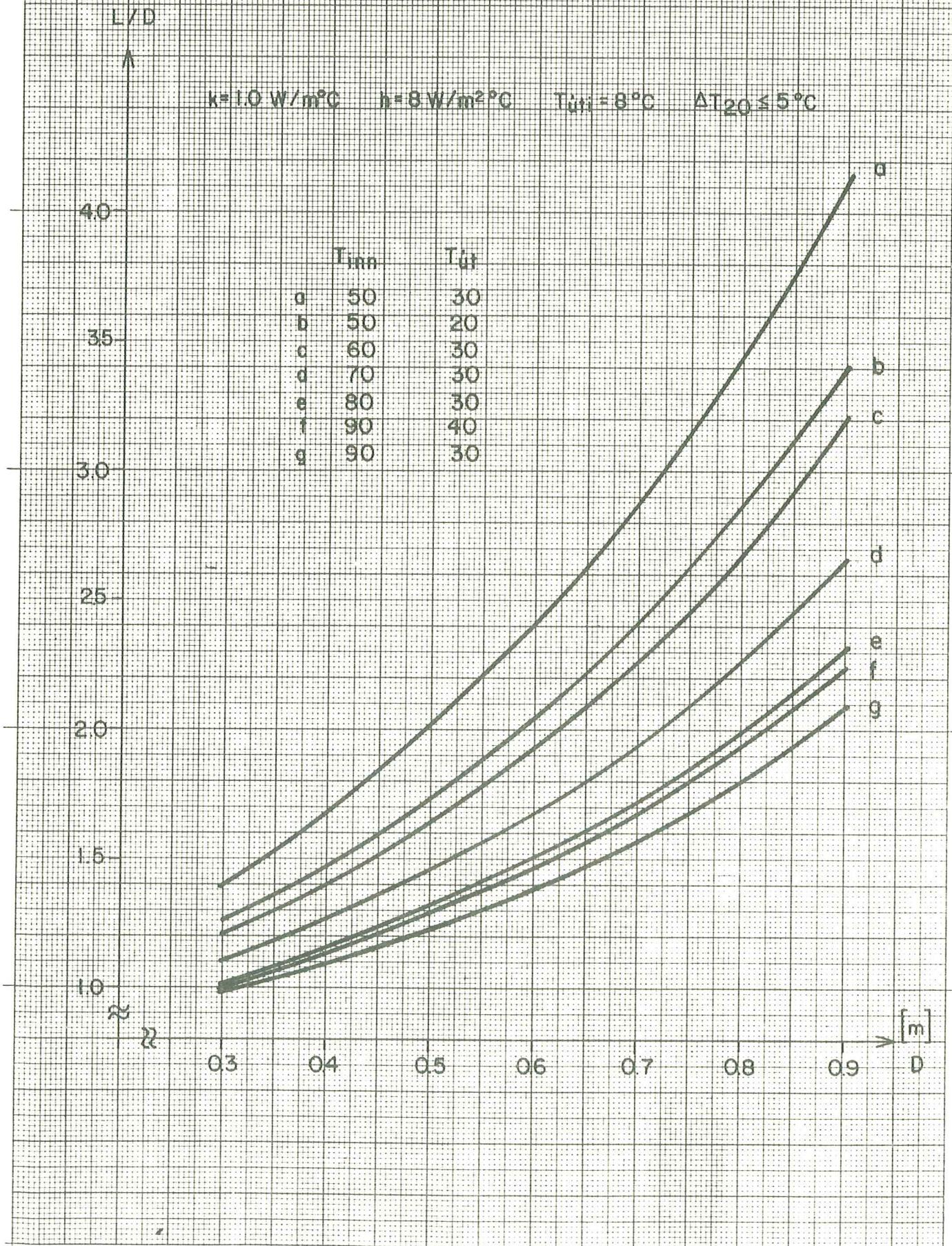
Hitastigsdreifing í þversniði

Mynd 3





Mynd 4.



T₂₀ sem fall af D fyrir staðallausn.

Mynd 5.

[°C] T₂₀

$$\Delta T_{20} \leq 5^\circ\text{C} \quad T_{\text{inn}} = 8^\circ\text{C} \quad h = 8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \quad k = 1 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

50

45

40

35

30

25

20

15



D

03

04

05

06

07

08

09

→ [m]

T_{inn}

a 90

b 90

c 80

d 70

e 60

f 50

g 50

T_{ut}

40

30

30

30

30

30

20

a
b
c
d
e
f
g

D



Linurit sem gefur L sem
fall af D fyrir staðallausn

Mynd 6.

L [m]

A

4

$$h = 8 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

$$T_u = 8 \text{ }^\circ\text{C}$$

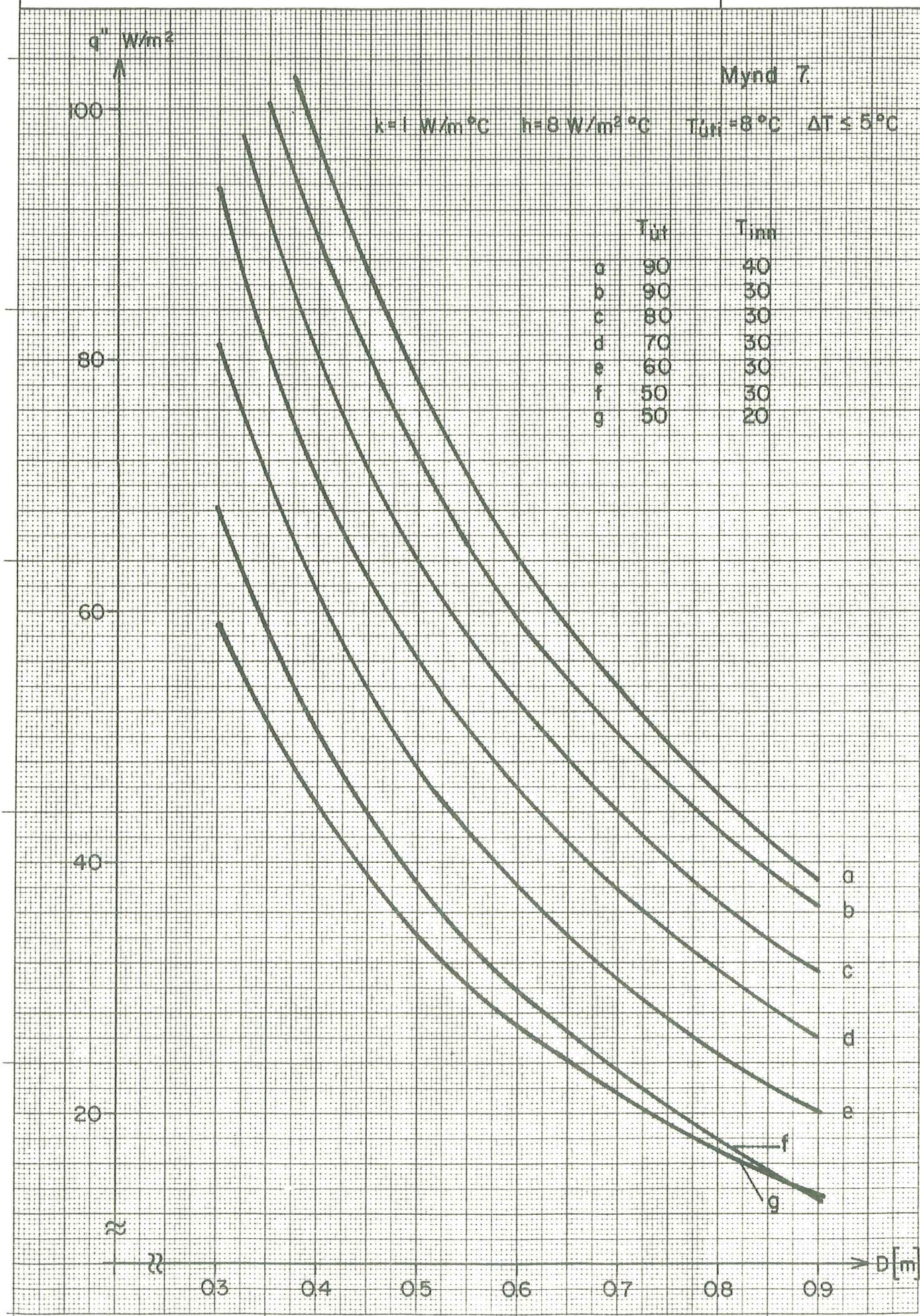
$$\Delta T_{20} < 5 \text{ }^\circ\text{C}$$

3

2

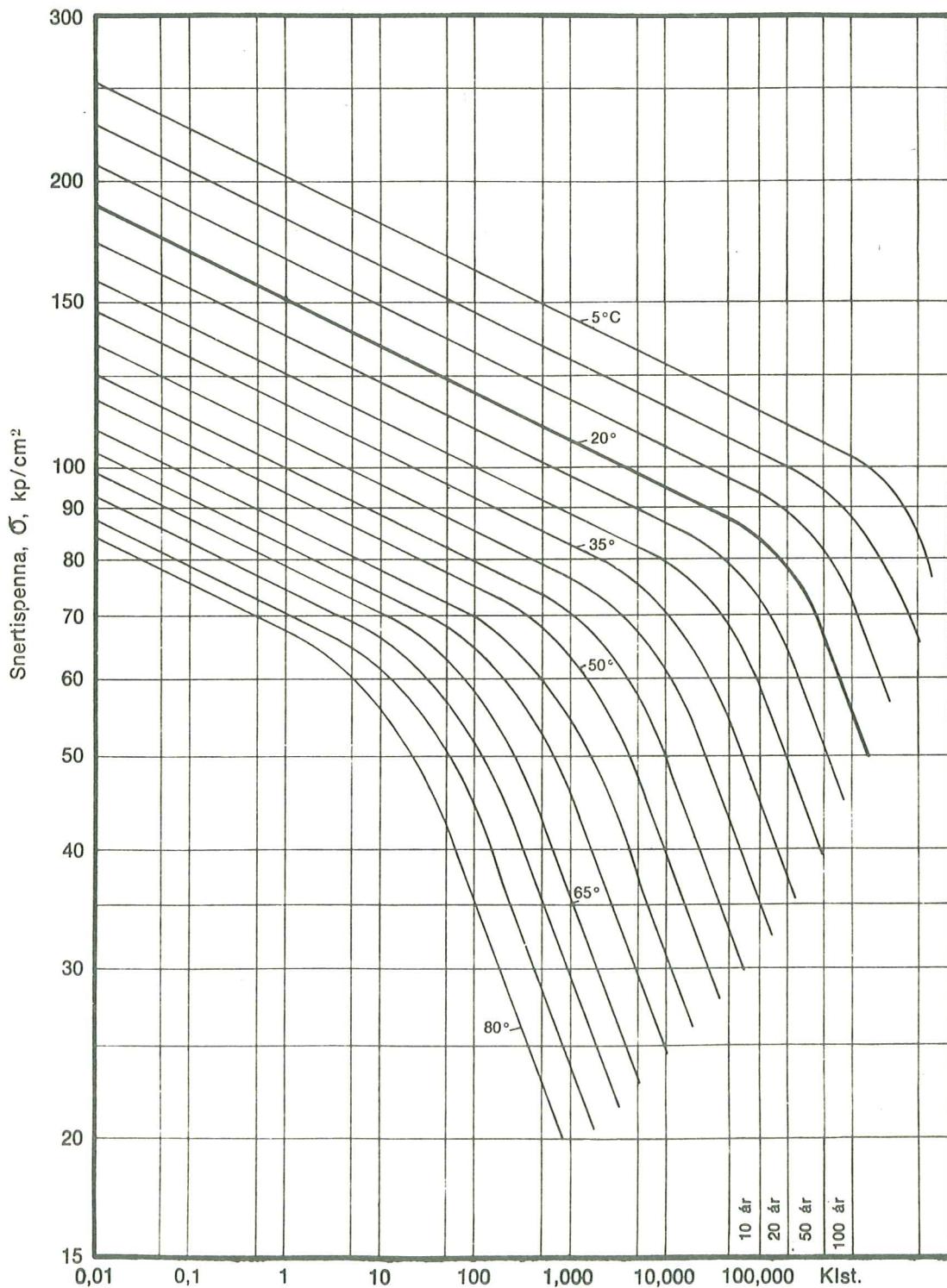
D [m]

	T _{inn}	T _{ut}
a	50	30
b	50	20
c	60	30
d	70	30
e	80	30
f	90	40
g	90	30

Varmastreymi á m^2 sem fall af D fyrir
staðallausn

$$\sigma = P \cdot \frac{D_u - s}{2 \cdot s}$$

σ = Snertispenna kp/cm²
P = Innri yfirþrýstingur kp/cm²
D_u = Utanmál mm
S = Veggþykkt mm



Endingartími í klst.

Leyfilegur innri yfirþrýstingur við 20°C svarar til 50 ára endingartíma og öryggis gegn broti 1,3.

 $\text{kp/cm}^2 = \times 10 \text{ mVs}$

A

5

4

3

2

1

≈

40

50

60

70

80

90

→ °C

Mynd 9.

Nafnpvermál
rörs

20 mm

25 mm

32 mm

40 mm

5

4

3

2

1

≈

40

50

60

70

80

90

→ °C

5

4

3

2

1

≈

40

50

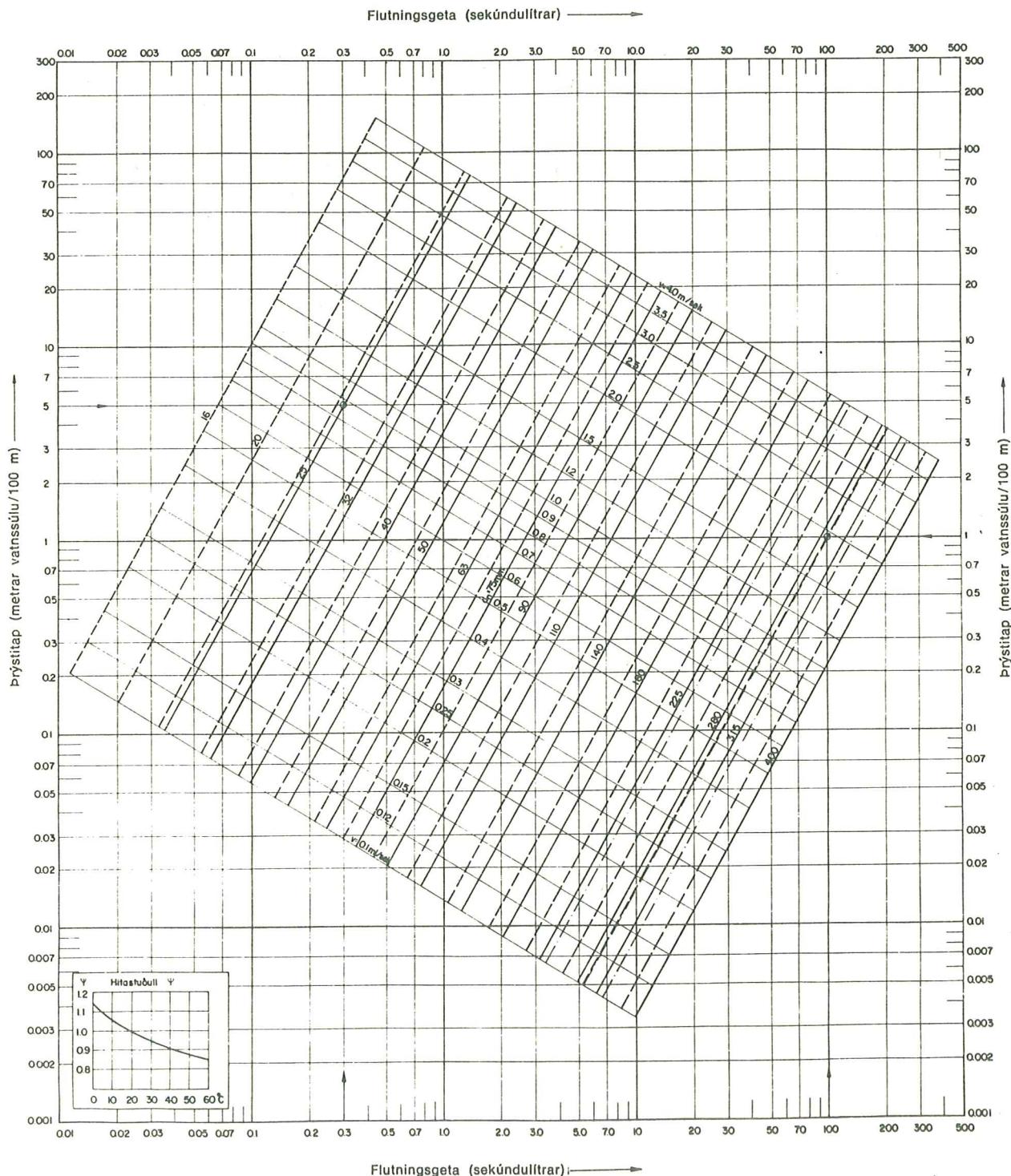
60

70

80

90

→ °C



Línurit þetta sýnir þrýstítap eða nauðsynlegan hæðarmismunir fyrir þein ósamsætt POLYETHYLEN rör við 20 °C. Þrýstítapið er gefið í metrum af vatnssúlu fyrir hverja 100 lengdarmetra. Við annan hita en 20°C er nauðsynlegt að margfalda með hitastuðli þeim, sem gefin er upp í horni línuritsins.

$d_n = \text{nafnamál rörs} = \text{ytra þvermál i mm.}$

- — — 10 kp/cm² þrýstistaðall
- — — 6 kp/cm² þrýstistaðall
- — — 4 kp/cm² þrýstistaðall

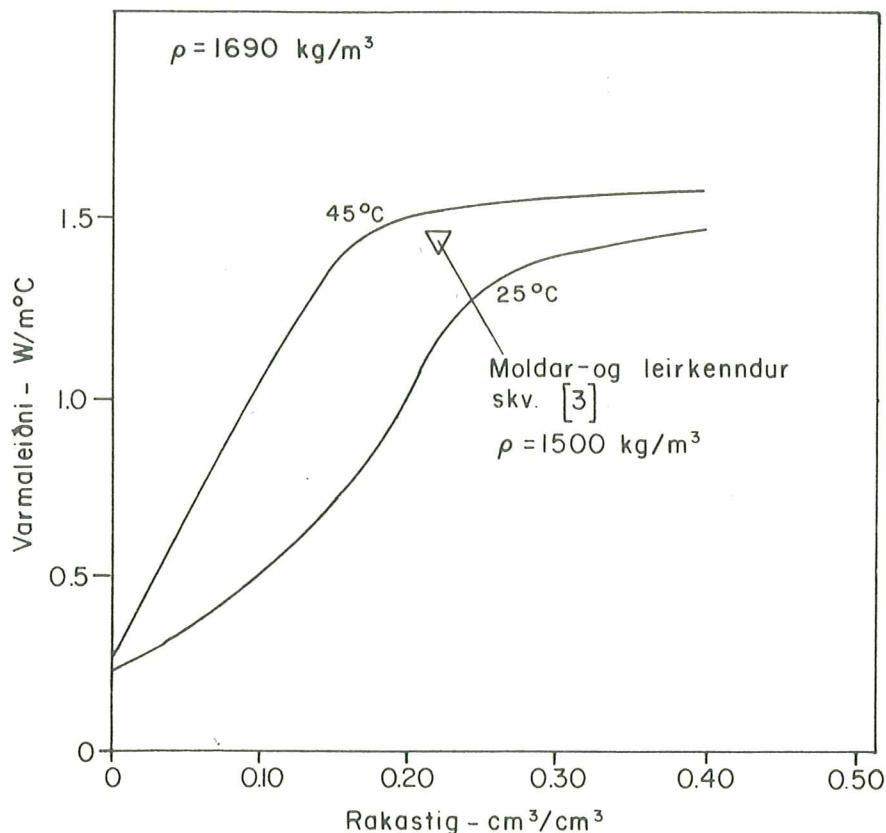
$V = \text{meðalhraði vatnsins i m/s.}$

Sé hæðamismunur 5 metrar á hverja 100 lengdarmetra og nauðsynlegt rennslí 0.3 sekündulítrar, sést á línuritinnu að nauðsynlegt nafnmál rörs er $d_n = 25$ mm samkvæmt 6 kp/cm² þrýstistaðli og hraðinn v er 0.87 m/s.

Sé rennslí i röri 100 sekündulítrar og nafnamál rörs $d_n = 315$ mm (10 kp/cm² þrýstistaðall), sést á línuritinnu að þrýstítapið verður 1 m vatnssúla fyrir hverja 100 lengdarmetra, og hraðinn v er 192 m/s.

Mynd 10 - Þrýstítapslínurit PEH-röra (Reykjalundur)

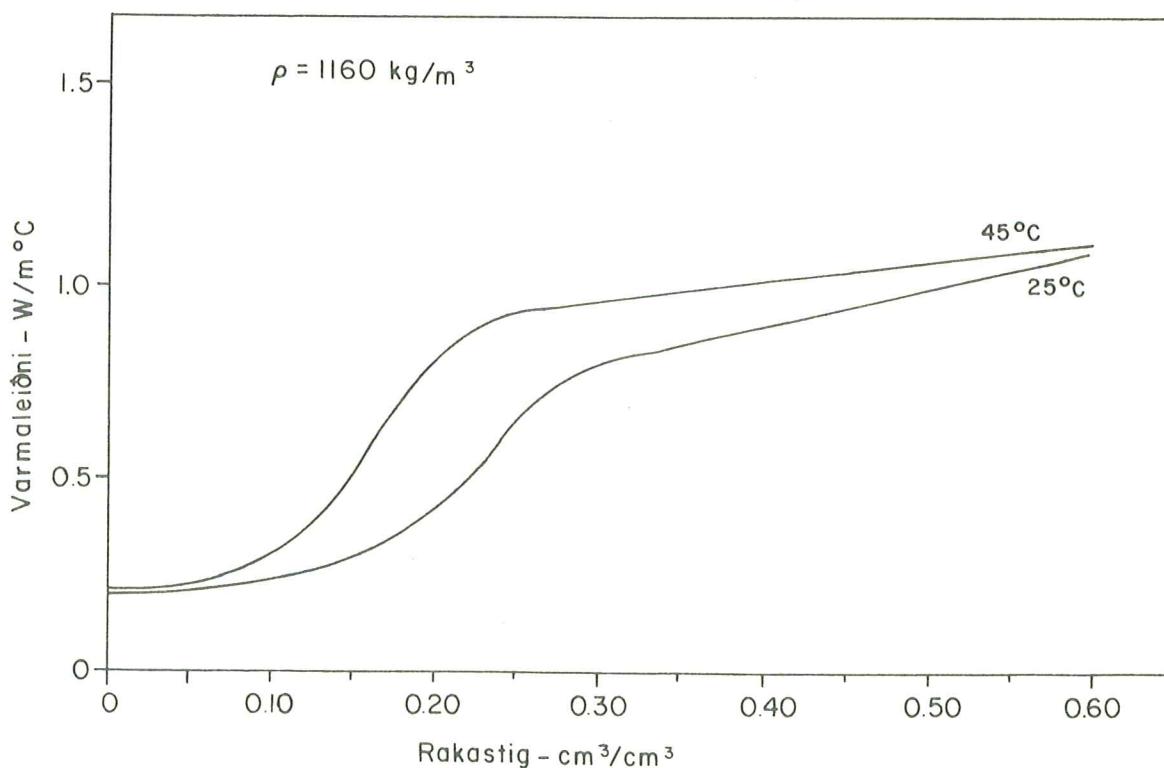
JHD-VT-9000-GL
81.08.0950-EBF



Sýndarvarmaleiðni Quincy-jarðvegs við 25 °C og 45 °C sem fall af rakastigi skv. heimild 4.

JHD-VT-9000-GL
81.08.0949-EBF

Mynd II b



Sýndarvarmaleiðni Chelalis-jarðvegs við 25 °C og 45 °C sem fall af rakastigi skv. heimild 4.

Viðauki A : Dæmi um hönnun pípukerfis

Hér verður sýnt með dæmi hvernig nota má hönnunarleiðbeiningar þær sem gefnar eru upp í kafla 6. Um er að ræða hönnun við dæmigerðar aðstæður. Að Böðmóðsstöðum í Laugardal er garður sem til stendur að leggja í pípukerfi. Umræddur garður liggur austast í landi Böðmóðsstaða við Brúará.

Helstu forsendur við hönnun eru:

1. Notað er frárennslisvatn úr gróðurhúsi og eru það um 0,5 l/s af 70°C vatni.
2. Garður stendur 2 m neðar en gróðurhús.
3. Stærð garðsins er 80 m x 15 m
4. Lengd garðsins frá gróðurhúsi er um 100 m.
5. Meðalhitastig á 20 cm dýpi skal vera 23°C.

Dýpi á rörum er valið skv. mynd 5. Farið er inn á lóðréttu ásinn með $\bar{T}_{20} = 23^\circ\text{C}$ og D lesið af láréttu ásnum þar sem láréttu línan sker feril d. Hér fæst $D = 0,51 \text{ m}$. Telja verður að þessi dýpt sleppi við alla venjulega tætara. Millibil röra er valið skv. mynd 6. Farið er inn á láréttu ásinn með $D = 0,51 \text{ m}$ og L lesið af lóðréttu ásnum þar sem lóðréttu línan sker feril d. Hér fæst $L = 0,77 \text{ m}$. Varmaflæði á m^2 fæst skv. mynd 7. Farið er inn á láréttu ásinn með $D = 0,51 \text{ m}$ og lesið af lóðréttu ásnum þar sem lóðréttu línan sker feril d. Hér fæst $q'' = 55 \text{ W/m}^2$.

Nú má reikna út heildarvatnsmagn fyrir garðinn skv. jöfnu 7

$$\dot{m}_t = \frac{15 \cdot 80 \cdot 55}{4180 \cdot (70-30)} = 0,4 \text{ l/s}$$

sem er minna heldur en það vatn sem er til staðar og því er í lagi að halda áfram. Vatnsmagn fyrir hverja slaufu má finna skv. jöfnu 8

$$\dot{m}_s = \frac{80 \cdot 2 \cdot 0,77 \cdot 55}{4180 \cdot (70-30)} = 0,041 \text{ l/s}$$

Ef valin væri $\phi 20 \text{ mm}$ PEH pípa væri þrýstitapið skv. mynd 10 $\Delta P_s = 0,5 \text{ mVs}$.

Ef valið væri í aðveituæð $\phi 40 \text{ mm}$ PEH pípa væri þrýstitapið skv. mynd 10 $\Delta P_a = 0,7 \text{ mVs}$. Hitastuðull fyrir aðveituæð skv. mynd 10 er $\psi_a = 0,81 (70^\circ\text{C})$ og fyrir slaufu $\psi_s = 0,87 (50^\circ\text{C})$. Heildarlengd slaufu er $2 \times 80 = 160 \text{ m}$ og aðveituæðar um 100 m. Því má finna þrýstitap kerfisins skv. jöfnu 10.

$$\Delta P = 0,87 \cdot \frac{160}{100} + 0,5 + 0,81 \cdot \frac{100}{100} \cdot 0,7 = 1,3 \text{ mVs}$$

Ef reiknað er með 10% aukningu á þrýstitapi vegna greininga o.fl., yrði heildarþrýstitapið því um 1,4 mVs.

Nú sést að hæðarmismunur gróðurhúss og garðs er nægur til að allt vatnið renni í gegnum kerfið þ.e. $1,4 \text{ mVs} < 2 \text{ mVs}$. Ennfremur er engin hætta á að rörin gefi sig þar sem þrýstingur í kerfi er langt undir leyfilegum þrýstingi sbr. mynd 9. Það skal þó hafa í huga við val á pípustærð að með tímanum geta óhreinindi sest inn á rörin og aukið þrýstitapið. Ef það er mjög tæpt að upphafsprýstingur sé nægjanlegur, er ráðlagt að velja þá heldur næstu pípustærð fyrir ofan.

Viðauki B : Jarðvegshítun sem frostvörn

Einn kostur jarðvegshítunar er sá, að garðarnir frjósa ekki að vetrum og því er hægt að planta út um leið og veðurfar og birtuskilyrði leyfa. M.ö.o., það þarf ekki að bíða með útplöntun vegna klaka, eins og oft vill verða í venjulegum matjurtargörðum. Við vissar aðstæður, t.d. þar sem lágt hitastig heitavatns er fyrir hendi, kemur því til greina að leggja pípur í garða til frostvarnar eingöngu. Stærðfræðijöfnurnar í kafla 4 má nota til þess að hanna slíkt kerfi. Hér verður sýnt með dæmi hvernig það er gert.

Miðað er við að hitastig jarðvegsins falli ekki neðar en 0°C . Nú gætu staðalskilyrði verið $k = 1 \text{ W/m}^2\text{C}$, $h = 10 \text{ W/m}^2\text{C}$, $T_u = -5^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{út}} = 15^{\circ}\text{C}$. Ef valið yrði að nota $\Delta T_{20} \leq 5^{\circ}\text{C}$, þá mætti velja $\bar{T}_{20} \geq 3^{\circ}\text{C}$ og þá frysí ekki í jörðinni nema þá e.t.v. yfirborðið. Einnig mætti festa $T_{\text{inn}} = 50^{\circ}\text{C}$ þ.e. dæmigert affallsvatn.

Nú hefur verið ákveðnar 5 breytur og tvær takmarkanir og nægir það til að ákvarða D og L út frá jöfnum (3) og (5). Ef völdum stærðum er stungið inn í jöfnur (3) og (5) fæst:

$$\frac{3+5}{50+5} = 0,0024 \cdot (0,604 + \frac{D}{L}) (1,015 + \frac{15+5}{50+5}) (27,727 - 10 \cdot D) (0,5 + \frac{1}{D})$$

og

$$\frac{5}{50+5} = 5,616 \cdot 10^{-4} (1,386 - \frac{15+5}{50+5}) (138 - 10 \cdot D) (\frac{L}{D} - 0,745) (\frac{1}{D} - 0,559)$$

Ef þessar jöfnur eru leystar saman fæst $D = 0,7 \text{ m}$ og $L = 1,4 \text{ m}$.

Varmaflæði á m^2 fengist skv. jöfnum (1) og (2).

$$q^* = (1 + \frac{15+5}{50+5}) ((-0,065 + 0,535 \cdot \frac{0,7}{1,4}) + (0,019 + 0,098 \cdot \frac{0,7}{1,4}) \cdot \ln(1 + 10 \cdot 0,7)) \cdot \frac{0,6}{0,7} = 0,3096$$

og

$$q'' = 0,309 \cdot 1 \cdot 1,4 \cdot (50+5) / 0,7 = 34 \text{ W/m}^2$$

Nú mætti reikna vatnsrennsli fyrir 1000 m^2 með jöfnu 7

$$\dot{m}_t = \frac{34 \cdot 1000}{4180 \cdot (50-15)} = 0,23 \text{ l/s}$$

Um sumarið myndi þetta sama kerfi gefa meðalhitastig á 20 cm dýpi við staðalaðstæður.

$$\bar{T}_{20} = \{(50-8) 0,0024 \cdot (0,604 + 0,5) (1,015 + \frac{30-8}{50-8}) (27,73 - 8 \cdot 0,7) (0,5 + \frac{1}{0,7})\} + 8 = 15,3^{\circ}\text{C}$$