

RAFORKUMÁLASTJÓRI  
JARDHITADEILD  
MARZ 1960

✓ *bok*  
**SÝNIEINTAK**  
*-má ekki fjarlægja*

SKÝRSLA UM  
MÆLINGAR Á GUFUMAGNI  
UR HOLU NR. 14 Í KRÍSUVÍK

EFTIR  
ÍSLEIF JÓNSSON

RAFORKUMÁLASTJÓRI  
JARDHITADEILD  
MARZ 1960

SKÝRSLA UM  
MÆLINGAR Á GUFUMAGNI  
ÚR HOLU NR. 14 Í KRÍSUvíK  
EFTIR  
ÍSLEIF JÓNSSON

### Inngangur

Eftirfarandi skýrsla er byggð á mælingum, sem gerðar voru á gufu- og vatnsmagni úr holu nr. 14 í Krísvík á tímaþíðinu frá júlí 1957 til september 1959. Sett voru upp tæki til að skilja vatnið úr gufunni og auðvelda mælingar á gufu- og vatnsmagninu úr holunni. Tækin voru sett upp í maí og reglulegar mælingar hófust í byrjun júlí 1957.

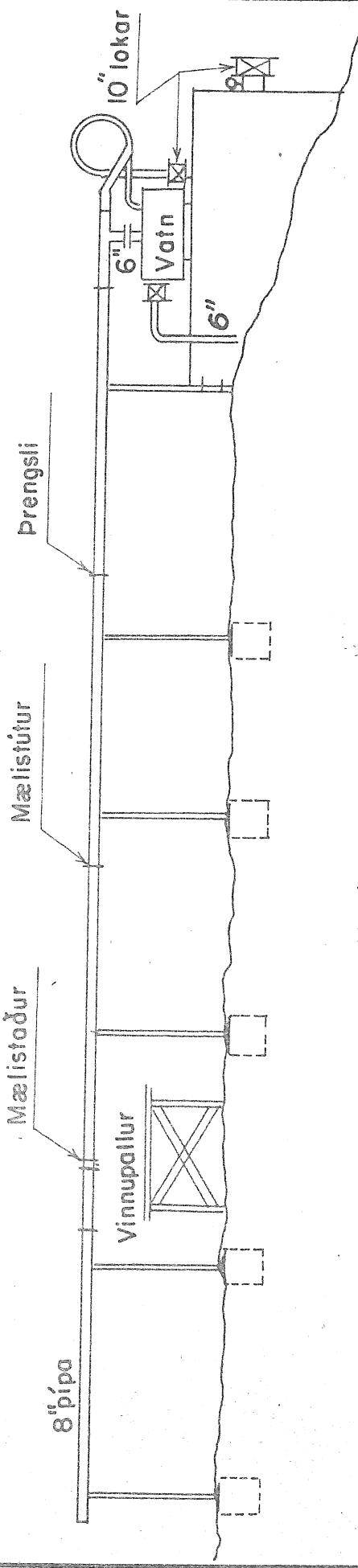
### Lýsing á tækjum

Fyrirkomulag tækjanna er sýnt á meðfylgjandi teikningum nr. 3508 og 3509. Tækin eru í stórum dráttum þannig að ofan á 10" lokantíp, sem er efst á holunni, er beygja  $270^{\circ}$  úr 10" pípu, sem greinist í tvær pípur, aðra láréttu, en hinavísa um  $45^{\circ}$  upp. Þessi beygja er til þess ætluð að skilja vatnið úr gufunni með miðflóttakraftinum. Vatnið fer þá út í láréttu pípuna og safnast í geyminn, sem er nokkurskonar gufugildra. Gufan fer út í gegnum efri pípuna og inn í 8" pípu, sem liggur lárétt á staurum. Úr vatnsgeyminum liggja tvær 6" pípur, ein lárétt úr geyminum ofantil með 6" loka til að stilla vatnsrennslið og halda hæfilegum þrýstingi á vatninu til að koma í veg fyrir að gufan geti ruðst út með vatninu, þegar þrýstingurinn hækkaði í holuopinu. Upp úr geyminum liggur 6" pípa, sem var til þess ætluð að hleypa gufu, sem kæmist með vatninu inn í geyminn, upp í 8" pípuna. Það kom strax í ljós að talsverð gufa fór þessa leið og reif með sér nokkuð af vatninu. Þannig truflaðist vatnsrennslið í geyminum mjög mikið og vatnið, sem hafði skilst frá gufunni í 10" beygjunni, blandaðist henni aftur að nokkru leyti. Þessari pípu var því lokað með blindflansi strax eftir fyrstu mælingarnar. 8" pípan er um 25 m á lengd. Um 7,5 m frá endanum er komið fyrir pípubút með flansi fyrir mælitæki, ásamt stútum fyrir hitamæli o.fl. Sjálfst mælitækið er Pitot-pípa sem mælir statiskan og dynamiskan þrýsting gufunnar á mælistæki í pípunni i mm kvikasilfurssúlu. Pitot-pípan er einnig notuð til að taka sýnishorn af gufunni.

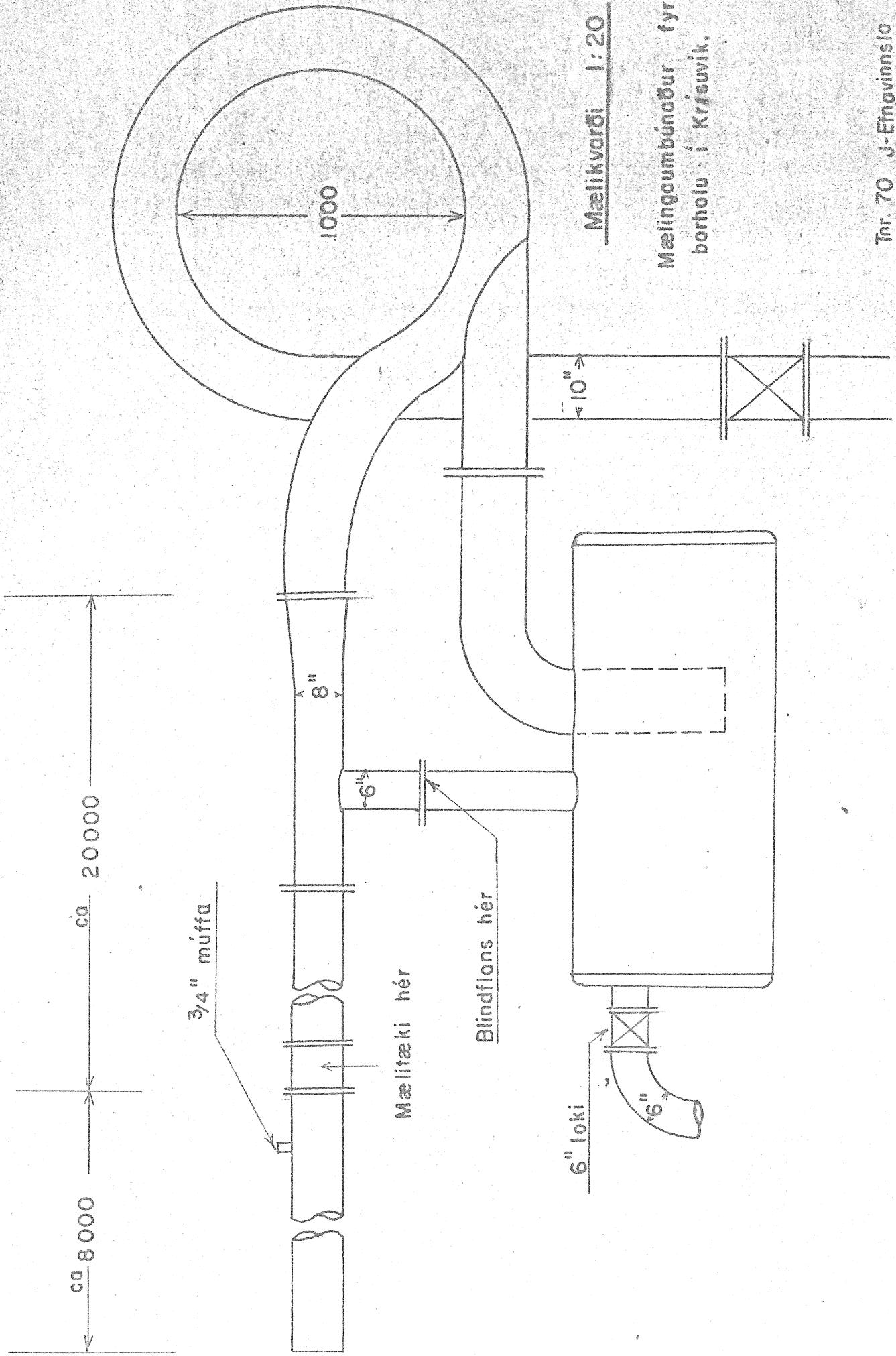
RAFORKUMÁLASTJÓRI  
jarðhitadeild

Mæloumbúnaður f. borholu 14, Krísuvík.  
(skematisk)

I2.3.60 NJ / PJ  
TNR. 5 TNR. 71  
B J - Krísuv. J-Efnav.  
FNR. 3509



Mælikv. 1:125



Að loknum fyrstu mælingunum var komið fyrir þrengslum í 8" pípunni og seinna auk þess mælist út til að mæla gufumagnið og fá þannig samanburó á mismunandi mælingaaðferðum. Þannig var mótprystingurinn smám saman aukinn og gufumagnið mælt við mismunandi mótprysting.

#### Mælingarnar

Til þess að hægt sé að reikna út gufumagn og vatnsmagn úr holunni þarf að mæla eftirfarandi:

1. Þrýsting í holuopi undir 10" loka
  2. Hitastig á mælistað í 8" pípu
  3. Statiskan og dynamiskan þrýsting á mælistað í 8" pípu
  4. Taka sýnishorn af gufunni í 8" pípunni og ákvárdar rakastigið
  5. Taka sýnishorn af gufunni í 6" pípunni og ákvárdar rakastigið
- Hér fer á eftir stutt lýsing á því hvernig mælingarnar eru framkvæmdar:

##### 1. Þrýstingur í holuopi:

Komið var fyrir þrýstimæli á pípunni, sem stendur út úr steypta pallinum og snýr upp að fjallinu (í vestur). Á þessari pípu, sem er hliðargrein af fóðurpípunni efst í holunni, er loki, sem var lokaður af man tímann, sem mælingarnar stoðu. Þetta er því ágætur staður til að mæla statiska þrýstinginni efst í holunni, undir lokunum.

##### 2. Hitastig á mælistað í 8" pípu:

Á mælistaðnum er stútur fyrir hitamæli. Hitamælirinn var settur upp um leið og mælipípan og lesið á hann í hvert sinn um leið og hraði gufunnar er mældur með mælipípunni.

##### 3. Mæling á statiskum og dynamiskum þrýstingi:

Hraði gufunnar í pípunni má reikna út ef dynamiski þrýstingurinn er þekktur, ásamt eölisþyngd gufunnar. Dynamiski þrýstingurinn er mældur með Pitot-mælipípu. Hann mælist sem mismunur heildarþrýstingsins og statiska þrýstingsins. Uppstilling mælitækjanna er sýnd á meðfylgjandi teikningu.

##### 4. Sýnishorn af gufunni í 8" pípunni:

Það er nayðsynlegt að vita hve mikil vatn er í gufunni, þegar dynamiski þrýstingurinn er mældur, svo að hægt sé að vita hve mikil áhrif vatnið hefur á þrýstinginn.

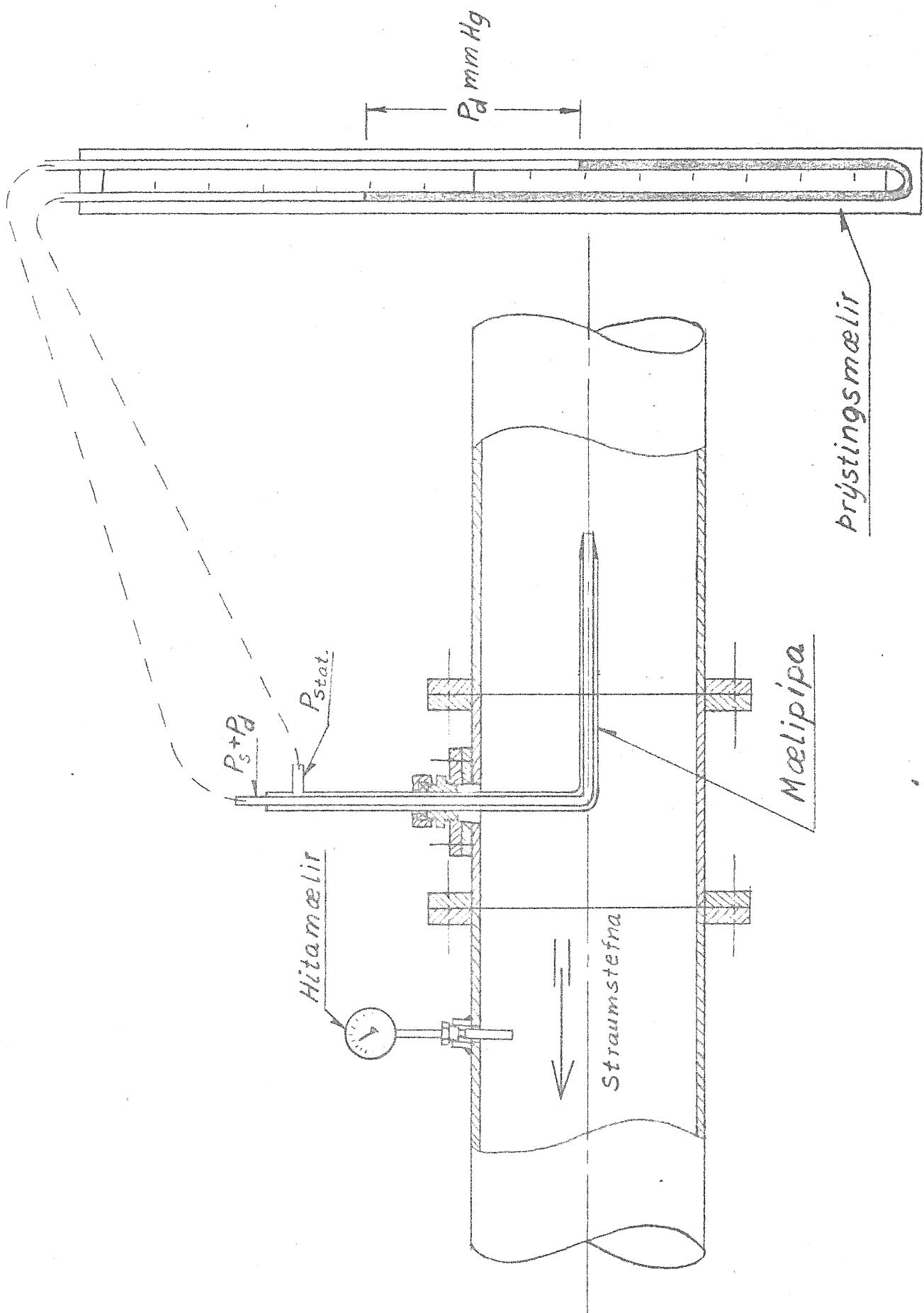
RAFORKUMÁLASTJÓRI

HOLA 14 KRÍSUVÍK

TÉKI TIL GUFUMÆLINGA

Mars 1960 F.F.

MELIKV. 1:5



Petta má gera þannig að sýnishorn af gufunni er leitt inn á eimsvala, þéttöö og safnaö í flösku. Sýnishorniö var tekiö meö mælipípunni og leitt úr henni inn í eimsvalann.

#### 5. Sýnishorn af gufunni í 6" pípunni:

Vatniö, sem skilst úr gufunni í sniglinum fer út um 6" pípuna úr safngeyminum. Þaö fer alltaf dálítiö af gufu út meö vatninu í gegnum geyminn og auk þess gufar nokkur hluti vatnsins upp er þaö kemur út úr 6" lokanum og þrýstingurinn minnkar snögglega. Þaö er hægt að reikna út, hve mikiö af gufu fer þarna út, ef vitaö er hve mikill hluti þess er út streymir er gufa, og hve mikiö er vatn. Þess vegna eru tekin sýnishorn af gufublöndunni í 6" pípunni á sama hátt og úr 8" pípunni. Til þess er notuö vinkilbeygö pípa, svipuö mælipípunni, og eimsvalinn

#### Útreikningar:

Sú aöferö, sem lögö er til grundvallar viö útreikningana á gufumagninu byggist á því að dynamiski þrýstingurinn breytist meö hraðanum í ööru veldi samkvæmt Bernoullis líkingu.

$$P_d = \frac{e}{2g} \cdot W^2 \quad \text{eða} \quad W = \sqrt{\frac{2g \cdot P_d}{e}} \quad (1)$$

$P_d$  = dynamiski þrýstingurinn  $\text{kg/m}^2$  (=mmvs)

$e$  = eðlisþyngd efnisins  $\text{kg/m}^3$

$g$  = 9,81  $\text{m/s}^2$  þyngdaraccelerationin

$W$  = hraði efnisins á mælistaoö  $\text{m/s}$

Dynamiski þrýstingurinn er mældur meö mælipípunni.

Ef um yfirhitaða eða þurrmettaða gufu er að ræða er auðvelt að mæla gufuhraðann á þennan hátt, þegar eðlisþyngdin er þekkt, en hún finnst meö mælingu á hitastigi og statiskum þrýstingi gufunnar. Þegar um raka gufu er að ræða gegrnir ööru máli. Vatniö í gufunni er í örsmáum dropum, sem berast meö gufustraumnum. Þessi blanda hagar sér þess vegna líkt og tvö óskyld efni þannig að hraði vatnsdropanna þarf ekki að vera sá sami og hraði gufunnar. Hér verður því að taka tillit til þessa viö útreikning á hraða gufunnar

út frá dynamiska þrýstingnum. Dynamiski þrýstingurinn, sem mælist með mælipípunni er summan af dynamiskum þrýstingi gufunnar og dynamiskum þrýstingi vatnsins. Til þess að hægt sé að finna hve mikill hluti dynamiska þrýstingsins stafar frá gufunni og hve mikið frá vatninu er nauðsynlegt að vita hve mikill hluti blöndunnar er gufa og hve mikið vatn. Ef hraði gufunnar í stefnu pípunnar er  $W_g$  og vatnsins  $W_v$  má skrifa líkinguna (1) svona:

$$P_d = \frac{e_g}{2g} \cdot W_g^2 + \frac{e_v}{2g} \cdot W_v^2 \quad (2)$$

$e_g$  = eðlisþyngd gufunnar  $\text{kg/m}^3$

$e_v$  = eðlisþyngd vatnsins í dropaformi miðan við rúmtak í pípunni  $\text{kg/m}^3$

Ef  $W_v = n \cdot W_g$  fæst við innsetningu í (2)

$$P_d = \frac{e_g \cdot W_g^2}{2g} \left( 1 + \frac{e_v}{e_g} \cdot n^2 \right)$$

Ef jafnan er leyst með tilliti til  $W_g$  fæst ef  $e_v = u \cdot e_g$ , en þetta hlutfall er þekkt, þegar rakastig gufublöndunnar er fundið, sem kg. vatn pr. kg. gufu í blöndunni:

$$W_g = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot P_d}{e_g (1+u \cdot n^2)}} \quad (3)$$

Þegar hraði gufunnar er þekktur er auðvelt að reikna út gufumagnið í pípunni.

$$G = W_m \cdot F \cdot e_g \quad (4)$$

$W_m$  = meðalhraði gufunnar í pípunni  $\text{m/s}$

$F$  = Þverksurðarflatarmál pípunnar  $\text{m}^2$

$G$  = Gufumagnið í  $\text{kg/sek}$

$W_g$  sem reiknað er út frá dynamiska þrýstingnum er gufuhraðinn á mælistað, sem er í miðri pípunni.  $W_g$  er því ekki alveg sama og  $W_m$

Samkvæmt mælingum sem gerðar voru með mælipípunni í lööréttu þversniði 3. og 9. júlí virðist meðalhraðinn vera um 92% af hraðanum í miðri pípunni. Gufuhraðinn í miðju var

311 m/s 3. júli, en 341 m/s 9. júlí. Meðalhraðinn er þá 286 m/s og 314 m/s. Reynolds talan er mjög há, eða  $2,49 \cdot 10^6$  og  $2,75 \cdot 10^6$ . Sé reiknað með að meðalhraðinn sé 92% af mældum hraða í miðri pípu og gildið á  $W_g$  í jöfnu (3) sett inn í stað  $W_m$  í (4), fæst gufumagnið í 8" pípunni:

$$G_8 = 0,92 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot P_d}{e_g (1+u \cdot n^2)}} \cdot F \cdot e_g \text{ kg/s} \quad (5)$$

Til þess að auðvelda útreikningana má setja inn raunverulegar stærðir fyrir  $g$  og  $F$  og reikna  $P_d$  í mm kvikasilfurssúlu svo að hægt sé að setja mælingaaflesturinn heint inn í jöfnuna og breyta síðan útkomunni í tonn/h. Þá fæst

$$G_8 = 0,92 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 13,6 \cdot P_d}{e_g (1+u \cdot n^2)}} \cdot 0,03365 \cdot e_g \cdot \frac{3600}{1000} \text{ tonn/h}$$

$$G_8 = 1,82 \cdot \sqrt{\frac{e_g \cdot P_d}{1+u \cdot n^2}} \text{ tonn/h} \quad (6)$$

$G_8$  = Gufumagnið í 8" pípunni tonn/h

$e_g$  = Eðlisþyngd gufunnar (án vatns) kg/m<sup>3</sup>

$P_d$  = dynamiski þrýstingurinn mældur í mm Hg

$u$  = Hlutfallið kg. vatn / kg. gufu í blöndunni

$n$  = Hlutfallið hraði vatnsins / hraða gufunnar í 8" pípunni.

Þegar gufumagnið er þekkt finnst vatnsmagnið út frá hlutfallinu kg.vatn / kg.gufa. Þá er eftir að finna hve mikið vatn og gufa fer út um 6" pípuna.

Rakastig gufunnar er fundið með því að ákvarða klorídinnihald sýnishornsins. Aðferðin byggist á því að gufan ber ekki með sér neitt kloríd, það er allt uppleyst í vatnini, sem berst upp með henni. Til þess að ákvarða rakastig gufunnar þarf því tvær prufur.

1. Prufu af vatninu einu eins og það kemur upp

2. Prufu af gufu-vatnsblöndunni á mælistao

Ef vatnið inniheldur  $C_o$  mg/l en gufublandan  $C_1$  mg/l sem svarar til X% vatns í blöndunni gildir jafnan:  $100 \cdot C_1 = X \cdot C_o$

$$\text{eða } X = \frac{C_1}{C_0} \cdot 100 \quad (7)$$

Þegar rakastigið er fundið finnst hlutfallið milli vatns og gufu sem

$$\frac{X}{100 + X} \text{ kg.vatn / kg.gufu} \quad (8)$$

Ef teknar eru prufur og fundið rakastigið á sama tíma bæði í 8" og 6" pípunni má reikna út vatns- og gufumagnið í 6" pípunni, ef rakastig gufunnar, eins og það er, þegar hún kemur upp óskilin, er þekkt. Þá er gert ráð fyrir að raka-stig gufunnar efst í holunni breytist ekki við það að 6" lokanum er lokað og allri gufunni óskilinni hleypt út um 8" pípuna á meðan mælt er. Þá gildir jafnan:

$$u_0 = \frac{v_8 + u_6 \cdot G_6}{G_8 + G_6} \text{ kg.vatn / kg.gufu} \quad (9)$$

Ef  $G_6$  er eimangrað fæst:

$$G_6 = \frac{u_0 \cdot G_8 + v_8}{u_6 + u_0} \text{ tonn/h} \quad (10)$$

$G_6$  = Gufumagnið í 6" pípunni tonn/h

$G_8$  = Gufumagnið í 8" pípunni tonn/h

$v_8$  = Vatnsmagnið í 8" pípunni tonn/h

$u_0$  = kg.vatn/kg.gufa í holunni óskilið

$u_6$  = kg.vatn/kg.gufa í 6" pípunni

Gufu- og vatnsmagnið úr holunni finnst með því að nota jöfnurnar (6) og (10)

#### Mælingar með mælistút

Í desember 1957 var settur mælistútur í 8" pípuna svo að hægt væri að fá samtíma mælingar til að bera saman við mæli-pípuna. Um leið voru einnig sett þrengsli, þvermál 110 mm, í 8" pípuna til að auka móþrýstinginn. Það er mjög aðskilegt að fá samanburð á mælingum með mælipípu og mælistút

Mælistúturinn er gerður samkvæmt DIN 1952

VDI - Durchflussmessregeln, 6. útg. 1948

Þvermál stútgsins er  $d = 160$  mm en pípunnar  $D = 200$  mm  
og hlutfallið  $m = d^2/D^2 = 0,64$ . Gufumagnið finnst úr  
jöfnunni:

$$G = 0,01252 \cdot a \cdot \varepsilon \cdot d^2 \sqrt{e_1 \cdot (P_1 - P_2)} \text{ kg/h} \quad (11)$$

$a = 1,174$  Þengslistala háð m (Sjá Arbeitsblatt 6)

$\varepsilon$  = Penslutala fyrir gufuna, breytist með þrýstingnum

$e_1$  = Eðlisþyngd mettaðrar gufu  $\text{kg/m}^3$  við þrýstinginn  $P_1$

$P_1$  = Þrýstingurinn fyrir frama mælistútinn  $\text{kg/m}^2$

$P_2$  = Þrýstingurinn eftir mælistútinn  $\text{kg/m}^2$

Ef allra óþreytilegar stærðir eru settar inn í jöfnuna og

$P_1 - P_2$  reiknað í mm Hg, þá verður:

$$G = 0,01252 \cdot 1,174 \cdot \varepsilon \cdot 160^2 \cdot \sqrt{13,6} \cdot \sqrt{e_1 \cdot (P_1 - P_2)} \text{ kg/h}$$

$$G = 1,39 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{e_1 \cdot (P_1 - P_2)} \text{ tonn/h} \quad (12)$$

Ef tekið er tillit til þess að þrýstingafallið gegnum mælistútinn stafar að nokkru leyti af gufunni og að nokkru leyti af áhrifum vatnsisisin, á sama hátt og dynamiski þrýstingurinn mældur með mælipípu, verður sá hluti þrýstingsfalla eins sem gufan veldur  $\frac{P_1 - P_2}{1 + u \cdot n^2}$  þar sem  $u$  og  $n$  tákna sömu stærðinrnar og í jöfnu (6). Þá verður gufumagnið:

$$G = 1,39 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\frac{e_1 (P_1 - P_2)}{1 + u \cdot n^2}} \text{ tonn/h} \quad (13)$$

Penslutalan  $\varepsilon$  finnst á Arbeitsblatt 9; Bild 31

Hún er eingöngu háð  $P_1$  og  $P_2$  það eð m og k reiknast óbreytt  $k = 1,31$  og  $m = 0,64$ .

Gufumagnið í 6" pípunni og vatnsmagnið reiknast á sama hátt og fyrir mælipípuna, þannig fæst samanburður á þessum tveimur mælingaaðferðum

Niðurstöður

í meðfylgjandi töflum eru færðar allar niðurstöðutölur mælinganna ásamt útreiknuðu gufu- og vatnsmagni.

Útreikningarnir eru byggðir á því að hraði vatnsins sé 15% af hraða gufunnar. Þetta gildir um alla útreikningana á magninu, þeim mælt með mælipípu og mælistút. Þessi tala er valin vegna þess, að líkur benda til að hún sé sú rétta. Sjá t.d. Skýrslu um rannsóknir á jarðhita í Hengli, Hveragerði og nágrenni árin 1947 eftir Gunnar Böðvarsson bls. 31 í fyrra hluta. Helztu niðurstöðurnar eru svo sýndar á línuritum. Línurit I sýnir þrýstinginn í holuopinu og gufumagnið á hverjum tíma. Línurit II sýnir sambandið á milli þrýstingsins í holuopinu og rakastigs gufunnar úr holunni. Þessi línurit sýna greinilega að þeim rakastig gufunnar og gufumagnið helzt nokkurnveginn óbreytt þó að þrýtingurinn í holuopinu sé allt að 3 ata, en þegar þrýtingurinn hækkar upp í 3,5 ata fellur rakastigið úr ca. 73% í ca. 50% vatn og helzt þar þótt þrýtingurinn hækki upp í 5 ata og stutta stund upp í 6 ata. Hækjun móþrýstings upp í 3,5 ata virðist því loka fyrir vatnsæð, sem gefur um 10 tonn af gufu á klst. og 50 -60 tonn af vatni á klst.

Samanburður á töflu III og IV sýnir að mælingar gerðar með mælipípum og mælistúnum samtímis gefa mjög svipaða útkomu þegar rakastig gufunnar í 8" pípum er lágt, mismumurinn er viðast minni en 1/2 tonn/h, eða ca. 3% frávik, og má það teljast mjög gott samræmi, þar eða nákvæmni þrýstingsmælinganna er  $\pm$  10 mm Hg. sem gefur ca. 5-10% skekkju á mældum dynamiskum þrýstingi og ca 2 - 3% skekkju á útreiknuðu gufumagni.

卷之三

卷之三



HÖLA 14 KRAFTSVERK  
GURUMELINGAR MED MELLISØT

Tafla IV

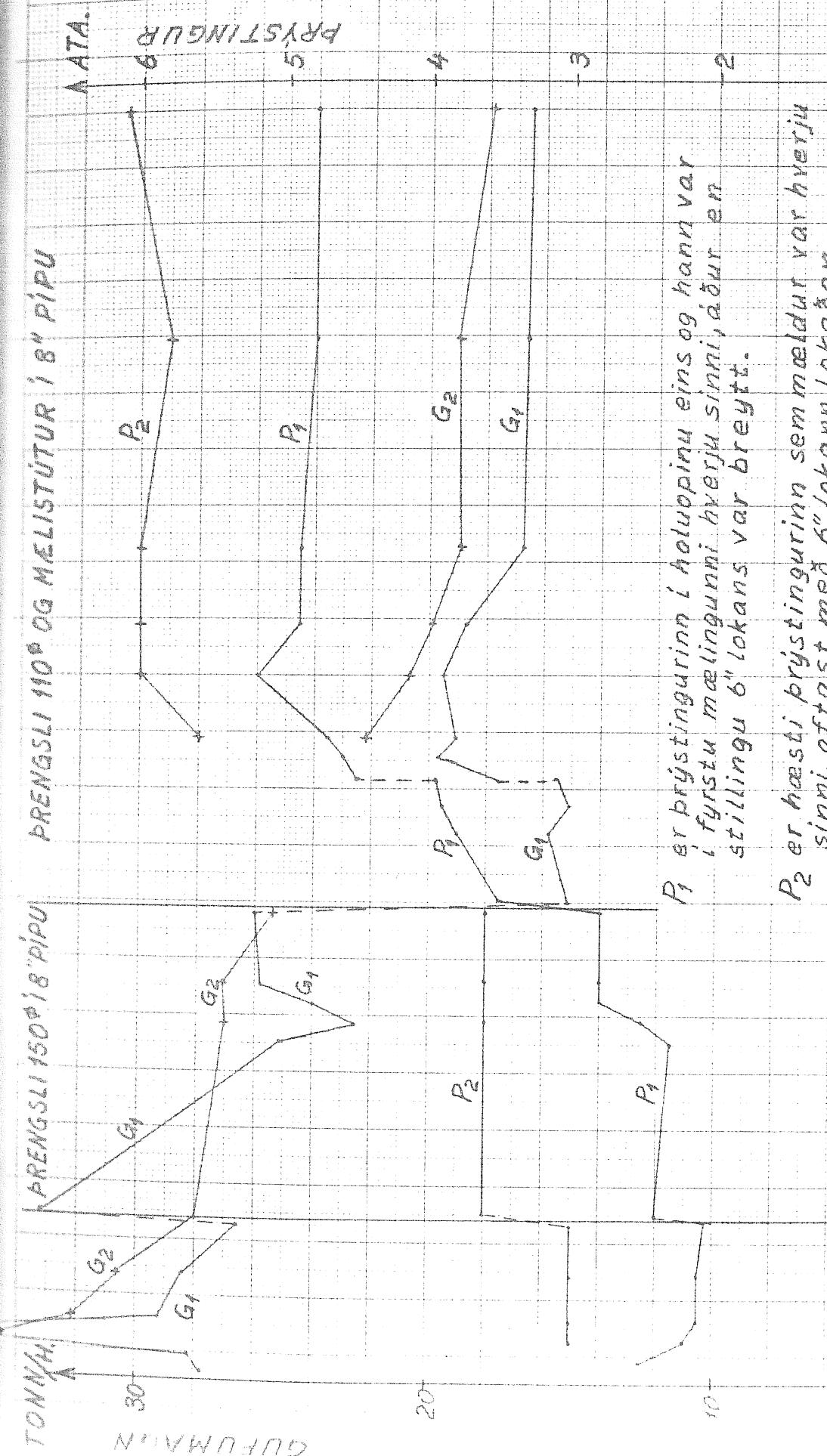
Dag- setn- ing nr.	Molu- op- pryst ata	Viö mælistút f 8" pipu	Hita- stig oc mmHG	Föli- senslu kg/m <sup>2</sup>	Vatt pr./kg gufu	Guft 8" pipa	Guft 6" pipa	Sam- tals tonn/h	Vatr tonn/h	Athugasemdir	
										pr. f 8" pipu	pr. f 6" pipu
20-12-57	1	3,50	245	260	106,5	0,74	0,75	0,35	8,26	14,4	1,4
14-1-58	1	3,80	265	285	107,0	0,75	0,73	0,30	10,2	14,7	1,2
24-1-58	1	3,90	270	285	107,5	0,76	0,73	0,32	17,9	14,7	0,6
3-2-58	1	3,95	270	285	107,5	0,76	0,73	0,33	10,5	14,7	1,1
-	2	4,50	360	380	110,0	0,82	0,68	0,41	18,6	16,6	0,6
11-2-58	1	4,60	435	440	111,5	0,86	0,66	0,39	18,9	18,1	0,7
10-2-58	1	4,70	420	420	111,0	0,84	0,68	0,41	11,2	17,8	1,1
-	2	5,60	670	610	119	1,09	0,64	1,05	-	22,6	0
10-2-58	1	5,20	70	470	112,5	0,89	0,65	0,50	17,2	18,3	0,7
-	2	6,00	790	630	120	1,12	0,64	1,08	-	23,3	0
20-3-58	1	4,90	320	350	108,5	0,79	0,68	0,33	30,1	15,6	0,4
-	2	6,90	750	620	119	1,09	0,63	0,99	-	22,5	0
20-4-58	1	4,90	335	360	108,5	0,79	0,69	0,30	21,2	16,1	0,7
-	2	6,90	710	580	118	1,06	0,64	1,21	-	21,8	0
9-7-58	1	4,60	295	320	107,9	0,77	0,71	0,32	11,2	15,4	1,0
-	2	6,80	720	600	118	1,06	0,63	1,01	-	21,8	0
29-9-59	1	4,80	310	318	108,6	0,79	0,71	0,36	15,7	15,6	0,6
-	2	6,10	730	595	119	1,09	0,64	1,00	-	22,4	0

3-3-60

HOLA 14 KRÍSUVÍK

LÍNURIT I

GUFUMAGN OG BRÝSTINGUR



$P_2$  er brýstingurinn í holuppi eins og hann var í fyrstu mælingunni hverju sinni, áður en stillingu 6" lokans var breytt.

$P_2$  er hæsti brýstingurinn sem mældar var hvarju sinni, oftast með 6" lokum lokagan.

$G_1$  er gufumagnið mælt við brýstingina  $P_1$ .

$G_2$  er gufumagnið mælt við brýstinginn  $P_2$ .

juli águst	sept. okt.	nóv. des.	jan. feb.	mars april	mai júní júlí	29. sept 1958
1957						1959

HOLA 14 KRÍSUVÍK

2-2-60 J.J.

## L'INURIT II

## RAKASTIG OG PRÝSTINGUR

