



ORKUSTOFNUN  
Vatnsorkudeild

Orkustofnun, Straumfræðistöð  
Verkfræðistofan Vatnaskil h.f.

# **KVÍSLAVEITA – 3. ÁFANGI**

**Botnrás í Þúfuversstíflu  
Líkantilraun**

**OS-84024/VOD-03**

**Reykjavík, mars 1984**



**ORKUSTOFNUN**  
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

**Orkustofnun, Straumfræðistöð  
Verkfræðistofan Vatnaskil h.f.**

# **KVÍSLAVEITA – 3. ÁFANGI**

**Botnrás í Þúfuversstíflu  
Líkantilraun**

**OS-84024/VOD-03**

**Reykjavík, mars 1984**

Dags.  
1984-03-30Tilv. vor  
VOD/370/857/55-84/LH-al

Dags.

Tilv. yðar

Landsvirkjun  
Háaleitisbraut 68  
108 Reykjavík

Hér með fylgir skýrsla um líkantilraun á botnrás í Þúfuversstíflu í Kvíslaveitu. Verkið var unnið samkvæmt samningi við Landsvirkjun vorið 1982 í samvinnu við Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen h.f. og hafði Hjálmar Þórðarson umsjón með verkinu fyrir hennar hönd.

Verkinu var hagað þannig: Líkanið var smíðað í samræmi við verkhönnun botnrásar eftir uppdráttum Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen h.f. nr. 82.001-3.30, 3.31 og 3.32. Fyrstu niðurstöður tilrauna með líkanið voru það jákvæðar að ekki þótti þurfa að breyta því.

Verkfræðistofan Vatnaskil annaðist fræðilega ráðgjöf við skýslugerð.

Virðingarfyllst,

Orkustofnun  
Straumfræðistöð

Verkfræðistofan  
Vatnaskil h.f.

Þjétt Erlendsson  
Laufey Stammersdóttir

Snorri Pálsson  
Jónas Ólafsson

## EFNISYFIRLIT

	bls.
1 Inngangur	4
2 Lýsing mannvirkis og líkansmiði	4
2.1 Mannvirki	4
2.2 Val mælikvarða	4
2.3 Smíði líkans	4
3 Líkantilraunir	7
3.1 Fyrirkomulag mælinga	7
3.1.1 Rennslismæling	7
3.1.2 Vatnshæðarmæling	7
3.2 Rennslislykill	7
3.2.1 Mælingar	7
3.2.2 Fræðilegir útreikningar	8
4 Niðurstöður	11
5 Eftirmáli	11

## MYNDASKRÁ

Mynd 1 Afstöðumynd	5
Mynd 2 Líkan botnrásar í Þúfuversstíflu	6
Mynd 3 Rennslislykill	10

## TÖFLUSKRÁ

Tafla 1 Rennslislykill	8
Tafla 2 Samanburður mælds og reiknaðs rennslis	9

## LJÓSMYNDASKRÁ

Ljósmynd 1 Pró líkans.	12
Ljósmynd 2 Bakvatnsáhrif á rennslí út úr röri við lítið rennslí Vh í lóni 595 m y.s.	12
Ljósmynd 3 Frítt rennslí út úr röri við mikið rennslí. Vh í lóni um 605 m y.s.	12
Ljósmynd 4 Prófun á bráðabirgðaloki	12

## 1 Inngangur

Líkan af botnrás í stíflu Þúfuverskvíslar, sem er hluti af Kvíslaveitu, var gert til að kanna hvort hönnuð botnrás uppfyllti skilyrði um flutningsgetu og straumlag. Líkanið er smíðað eftir teikningum frá Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen h/f. Sjá skýrsluna, Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen h/f, 1982: Kvíslaveita 3. áfangi, Verkhönnun, Stíflur í Svartá, Þúfuverskvísl og Eyvindarkvísl (unnin fyrir Landsvirkjun). Mæling var gerð á flutningsgetu botnrásarinnar og er hún í skýrslunni borin saman við áætlaða flutningsgetu.

## 2 Lýsing mannvirkis og líkansmiði

### 2.1 Mannvirki

Kvíslaveita er á vatnasviði Efri-Þjórsár, (sjá mynd 1). Tilgangur með henni er að veita vatni austur yfir vatnaskilin til Þórisvatns. Í þeim tilgangi verður Þúfuverskvísl stífluð ofan við Þúfuversfoss. Gert er ráð fyrir botnrás undir stífluna í farvegi Þúfuverskvíslar, sem hægt er að nota á byggingartíma og ef eitthvað bjátar á með stíflur og lón eftir byggingartíma. Þegar mannvirkjagerð er lokið verður einnig hægt að miðla vatni til Efri-Þjórsár um botnrásina. Áætluð flutningsgeta botnrásarinnar við vatnshæð 602 m y.s. er um 65 m<sup>3</sup>/s og við vatnsborð 593 m y.s. um 40 m<sup>3</sup>/s, samanber heimild, sem vitnað er í hér að framan. Hæsta vatnsborð í lóni er 605 m y.s. Hæð botns framan við inntak er í 589 m y.s. Botnrásin er stálfóðruð, 2,5 m í þvermál og 75 m löng.

### 2.2 Val mælikvarða

Við val kvarða var haft að leiðarljósi að líkanið gæfi straumfræðilega eftirlíkingu samkvæmt Froudes líkanlögumáli og kostnaður við gerð þess væri viðráðanlegur. Fyrir valinu varð mælikvarðinn 1:25. Þá verða kvarðar hinna ýmsu stærða í líkaninu samkvæmt Froude þessir:

Lengd og breidd	1:25
Hraði	1: 25 = 1:5
Tími	1: 25 = 1:5
Rennsli	1:25 <sup>2,5</sup> = 1:3125

### 2.3 Smíði líkans

Líkan af botnrás í Þúfuversstíflu er smíðað úr steinsteypu og plexígléri. Þróin, sem kemur í stað lóns í Þúfuveri, er steypt upp og er samtengd þró við líkan að Sultartangavirkjun. Þróin er mjög stór eins og kemur fram á mynd 2, þess vegna er rennsli stillt í þessu





tilbúna lóni og líkt því sem er í náttúrunni. Botnrásin sjálf og lokubúnaður er gerður úr plexígléri. Varaloka er í rásinni lónmegin, síðan tekur við 75 m langt og 2,5 m vítt rör sem opnast meðan stíflu. Á neðri enda rörsins er bráðabirgðalok. Neðan rörsins tekur við skurður. Aðeins um 20 m af honum voru hafðir með í líkaninu, en lengd frá bráðabirgðaloki framá fossbrún er um 80 m. Aðstæður neðan botnrásar eru því ekki með í líkaninu. Samkvæmt líkankvarða hér að framan er botnrásin 3 m löng og 0,1 m í þvermál. Miðað við  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  rennsli í Þúfuverskvísl er rennsli í líkaninu  $25,6 \text{ l/s}$ .

### 3 Líkantilraunir

#### 3.1 Fyrirkomulag mælinga

##### 3.1.1 Rennslismæling

Rennsli til líkansins kemur beint úr V-laga yfirfalli Straumfræðistöðvar. Yfirfallið hefur verið kvarðað. Líking fyrir rennsli um yfirfallið miðað við vatnshæð í kerri yfir neðsta punkti í vaffi er :

$$Q = 1,317 \cdot h^{2,45}$$

þar sem  $h$  er vatnshæð í m og  $Q$  er rennsli í  $\text{m}^3/\text{s}$ . Til þess að fá rennsli í náttúru er  $Q$  margfaldað með 3125 samanber kaflann um val mælikvarða. Vatnshæðarmælir í kerri Straumfræðistöðvar stendur á haus þannig að við álestur 0,5 m er vatnsborð í lægstu stöðu. Líking fyrir rennsli í Kvíslaveitulíkani er því:

$$Q = 1,317 \cdot (0,5 - \text{álestur í kerri})^{2,45}$$

þar sem álestur í kerri er í m.

##### 3.1.2 Vatnshæðarmæling

Vatnshæðarmælar eru tveir, þeir sömu og notaðir voru í líkani Sultartangavirkjunar, sjá staðsetningu mæla á mynd 2. Mælarnir eru hallamældir inn miðað við líkanið. Líkingarnar fyrir mæla sem gefa vatnshæð í lóni í m y.s. ef álestur á mæla er þekktur eru:

$$\text{Vhm 1 : } \text{Vh lón (m y.s.)} = h \text{ (cm)} 0,25 + 580,15$$

$$\text{Vhm 2 : } \text{Vh lón (m y.s.)} = h \text{ (cm)} 0,25 + 580,24$$

#### 3.2 Rennslislykill

##### 3.2.1 Mælingar

Rennsli var mælt fyrir lónhæðir 589 til 606,5 m y.s. Niðurstöður eru í töflu 1, þar sem  $Q$  er rennsli í náttúru og  $H$  er vatnshæð í lóni.



TAFLA 1 Kvíslaveita, Botnrás í Þúfuversstíflu  
Rennslislykill

Álestur í kerri cm	Q m /s	Vhm 1 cm	H m y.s.	Vhm 2 cm	H m y.s.
43,60	4,89			35,30	589,06
41,41	10,06			35,92	589,22
38,71	19,66			38,16	589,78
36,58	30,02			43,78	591,18
33,54	49,51	60,18	595,20	59,79	595,19
30,83	71,92	91,22	602,96	90,82	602,94
29,98	79,99	105,63	606,56	105,23	606,55

Mælingarnar eru einnig sýndar á mynd 3.

### 3.2.2 Fræðilegir útreikningar

Orkulíking fyrir botnrásina er:

$$\alpha_1 \cdot V_1^2/2g + H = \alpha \cdot V^2/2g + H_0 + \zeta \cdot V^2/2g + f \cdot L/D \cdot V^2/2g \quad (1)$$

þar sem  $\alpha_1 \cdot V_1^2/2g$  er hraðahæð í lóni við inntak, H er vatnshæð í lóni,  $\alpha \cdot V^2/2g$  er hraðahæð í geislanum út úr botnrásinni og  $H_0$  er hæð geislans út úr botnrásinni. Síðustu tveir liðirnir eru orkutapsliðir, annars vegar innstreymistap og hins vegar núningstap í botnrásinni. Líkingu (1) má skrifa,

$$H - H_0 = C \cdot Q^2 \quad (2)$$

þar sem C er

$$C = 1/(2gA^2) \cdot (\alpha + \zeta + fL/D - \alpha_1 A^2/A_1^2)$$

Flatarmál  $A_1$  er innstreymisflatarmál í lóni, þar sem straumlínur eru nokkurn veginn samsíða. Í líkaninu er þróin 2-3 m breið þannig að  $A_1$  er á bilinu 1-2 m<sup>2</sup> (sjá ljósmynd 1 og mynd 2). Þverskurðarflatarmál rörsins í líkaninu er 0,0078 m<sup>2</sup>. Hlutfallið  $A^2/A_1^2$  er því mjög lítil stærð, u. þ. b. 0,00001, og er hraðahæð í lóni því sleppt. Jafna fyrir C verður þá:

$$C = 1/(2gA^2) \cdot (\alpha + \zeta + fL/D) \quad (3)$$

Fastana C og  $H_0$  má reikna út úr mælingum á rennsli og vatnshæð. Þeir eru þær tölur sem gefa minnstan mismun á mældu og reiknuðu rennsli, þar sem Q reikn =  $\sqrt{(H-H_0)/C}$ . Ef notuð eru þrjú efstu mældu gildi rennslis og vatnshæðar fæst,

$$C = 0,00287 \text{ s}^2/\text{m}^5 \text{ og}$$

$$H_0 = 588,13 \text{ m y.s.}$$

Samanburð á mældu rennsli og reiknuðu er að finna í töflu 2 og mynd 3.

TAFLA 2 Kvíslaveita, Botnrás í Þúfuversstíflu

h mælt m	H mælt m y.s.	Q mælt m /s	Q reikn m /s	Qm - Qr
1,94	589,06	4,89	18,00	-13,11
2,09	589,22	10,06	19,49	-9,43
2,66	589,78	19,66	23,98	-4,38
4,06	591,18	30,02	32,60	-2,68
8,06	595,19	49,51	49,60	0,09
15,81	602,94	71,92	71,84	0,09
19,42	606,55	79,99	80,11	-0,12

Ástæðan fyrir því að lægri gildin eru ekki notuð er sú að við lægstu vatnshæð er rörið ekki fullt af vatni en þá gildir líking (1) ekki lengur um rennslið. Kemur þetta fram á ljósmyndum 2 og 3.

Ef við gerum ráð fyrir að hrjúfeiki botnrásinnar í líkaninu sé 0,01 mm fæst með Colebrook og White jöfnu:

$$1/\sqrt{f} = 1,74 - 2 \log (2k/D + 18,7/(Re \cdot \sqrt{f})) \quad (4)$$

Þar sem  $f$  er núningstuðull og  $Re$  er Reynoldstala. Reynoldstala er reiknuð út frá eftirfarandi líkingu:

$$Re = VD/\nu$$

Þar sem  $V$  er vatnshraði,  $D$  er þvermál botnrásar og  $\nu$  er kvikseigja. Reynoldstala fyrir 80 m<sup>3</sup>/s rennsli og 5°C vatn er

$$Re = 2,14 \cdot 10^5$$

Jafna (4) gefur síðan núningstuðulinn ,

$$f = 0,0162$$

Við getum nú reiknað  $C$  fræðilega með jöfnu (3) fyrir  $f = 0,0162$ ,  $\alpha = 1,03$  og  $\zeta \approx 0,01$ .

$$C = 2,117 \cdot 10^{-3} \cdot (1,03 + 0,01 + 0,486) = 3,2 \cdot 10^{-3}$$

Fræðilega  $C$ -gildinu ber nokkuð vel saman við gildið fengið með mælingum. Hæð miðju geislans í útrás botnrásarinnar er 587,75 m y.s. og ber því vel saman við  $H_0 = 588,13$  m y.s. Síðasti liðurinn í jöfnu (3) til ákvörðunar á  $C$  er orkutapið í botnrásinni. Það er nær

Mynd 3

### KVÍSLAVEITA

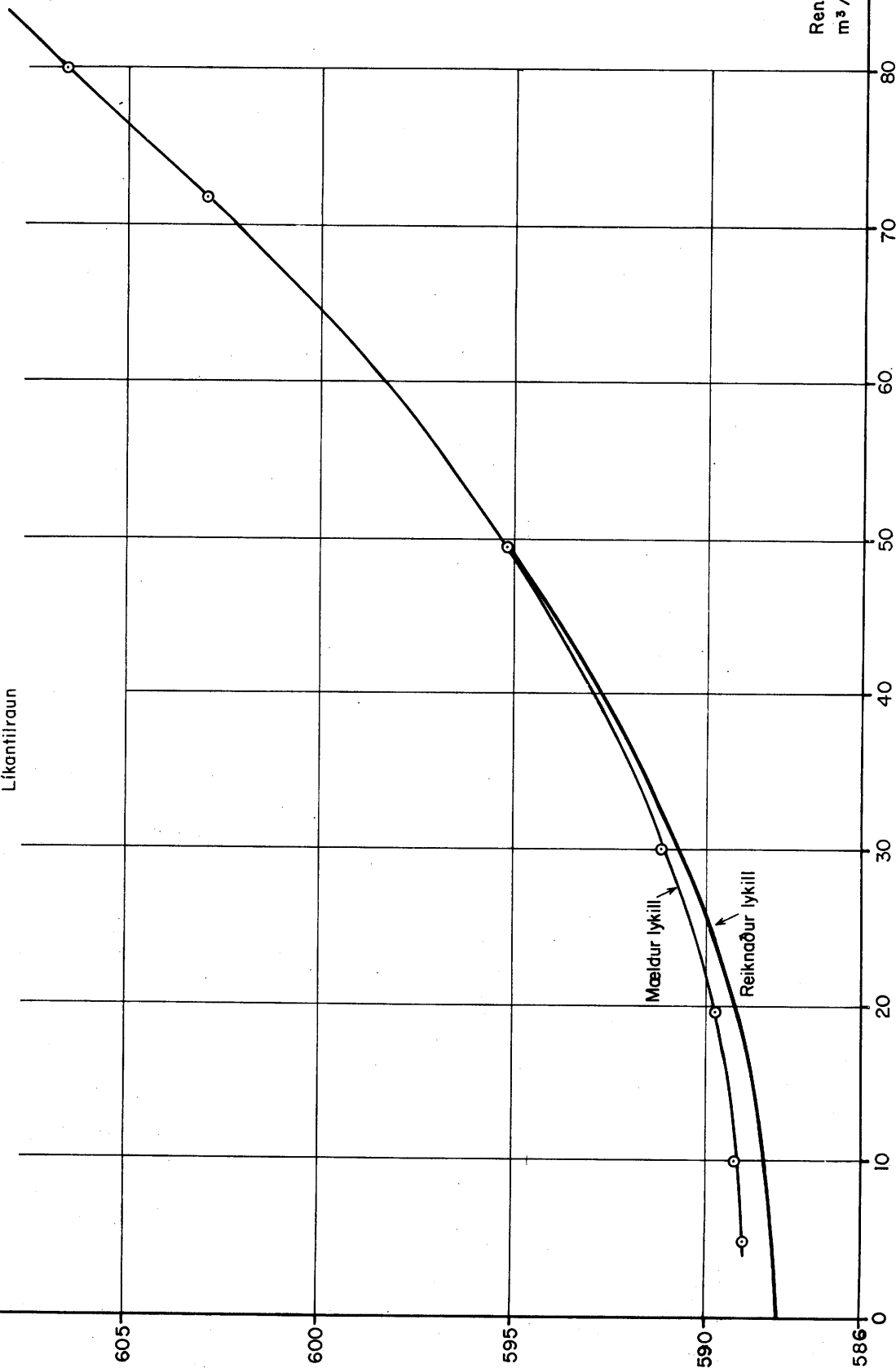
Botnrás í Þúfuverssýflu

Rennslislykill

Líkantíraun

610 Vatnshæð í lóni  
m y.s.

Rennslí  
m<sup>3</sup>/sek



helmingur af hraðahæðinni og þar sem Reynoldstala er ekki varðveitt í líkaninu er ekki víst að orkutapið yfirfarist rétt frá líkani til náttúru. Í þessu sambandi er Reynoldstla í náttúru

$$Re = 2,68 \cdot 10^7$$

Ef sami núningstuðull á að vera í líkani og náttúru, fæst út úr jöfnu (4):

$$k = 1,1 \text{ mm}$$

Þetta er sennilega of mikill hrjúfleiki og líkanið vanmetur því rennslið lítillega.

#### 4 Niðurstöður

Straumfræðileg hegðan er vel viðunandi. Ein hringiða er við loku í lóni neðan við um 597 m y.s. og verða tvær í sitt hvoru horni neðan við vatnsborð 594 m y.s. Flutningsgeta botnrásarinnar við vatnsborð 602 m y.s. er 69,5 m<sup>3</sup>/s, en við 593 m y.s. er hún 40,5 m<sup>3</sup>/s. Botnrásin flytur því ívið meira en áætlað var.

Tilraunir voru gerðar með bráðabirgðalok í neðri enda rörs, til þess að sjá hvernig rennslið hegðar sér verði vökvatjakkur settur við lokið. Tjakkurinn gerir kleift að opna og loka rásinni við hámarksvatnshæð í Kvíslavatni. Tilraunir sýndu að skyndileg opnun fór mjög rólega fram en lokun hafði skvettugang í för með sér, sjá ljósmynd 4. Mælingar sýndu að ekki varð vart við neinn titring í líkaninu.

#### 5 Eftirmáli

Í hönnunarskýrslu og líkani var reiknað með hæð á miðlínu rásar í 587,75 m y.s. en í reynd var hún sett í hæð 586,75 m y.s. til þess að falla betur að stíflugrunni. Þessi 1 m lækkun eykur flutningsgetu rásarinnar.

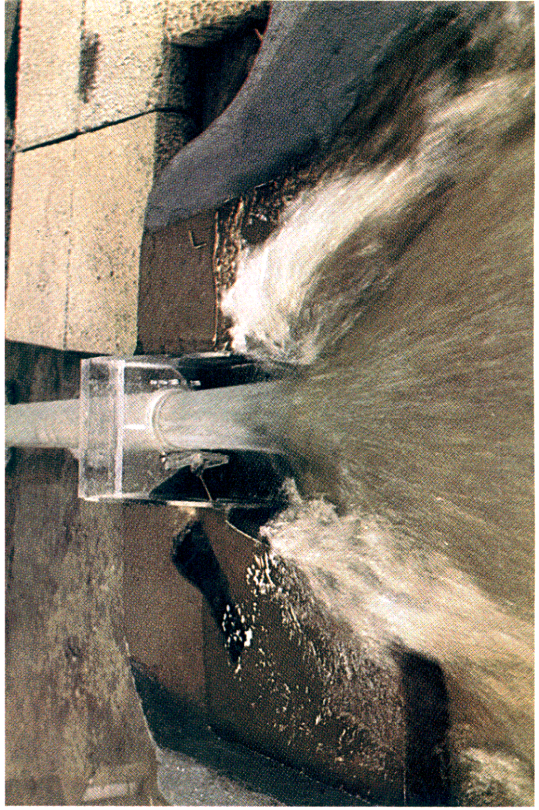




Ljósmynd 1: Bró líkans.



Ljósmynd 2: Bakvatnsáhrif á rennsli út úr röri við lítið rennsli  
Vh í lóni 595 m y.s.



Ljósmynd 3: Fritt rennsli út úr röri við mikið rennsli.  
Vh í lóni um 605 m y.s.



Ljósmynd 4: Prófun á bráðabirgðaloki