



ORKUSTOFNUN
Vatnsorkudeild

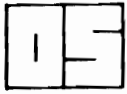
Straumfræðistöð Orkustofnunar
Verkfræðistofan Vatnaskil hf.

BLÖNDUVIRKJUN

Líkantilraun á botnrás í Blöndustíflu

OS-85040/VOD-03
Reykjavík, maí 1985

Unnið fyrir
Landsvirkjun



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 633

**Straumfræðistöð Orkustofnunar
Verkfræðistofan Vatnaskil hf.**

BLÖNDUVIRKJUN

Líkantilraun á botnrás í Blöndustíflu

OS-85040/VOD-03
Reykjavík, maí 1985

**Unnið fyrir
Landsvirkjun**

Dags.
1985.05.17

Tilv. vor

Dags.

Tilv. yðar

LANDSVIRKJUN
Háaleitisbraut 68
108 Reykjavík.

LÍKANTILRAUN Á BOTNRÁS Í BLÖNDUSTÍFLU.

Hér með fylgir skýrsla um líkantilraun á botnrás í Blöndustíflu. Tilraunin var gerð á Straumfræðistöð Orkustofnunar samkvæmt samningi við Landsvirkjun í samvinnu við Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen h.f. (VST). Sigurjón Helgason hafði umsjón með verkinu fyrir hennar hönd. Verkfræðistofan Vatnaskil h.f. annaðist faglega ráðgjöf vegna tilraunanna. Allmargir verkfundir voru haldnir milli aðila meðan á verki stóð og tók Jónas Eliasson prófessor virkan þátt í nokkrum þeirra á vegum Vatnaskila h.f.

Smíði líkansins hófst í júlí 1983, en mælingar og breytingar á líkani stóðu yfir með hléum frá ágúst 1983 til september 1984.

Líkan af botnrás var fyrst smíðað í stærðinni 4 x 5 m (þverskurður stokks í fullri stærð) með geiraloku við neðri enda af stærðinni 4.7 x 3.2 m. Varaloka var ofan við geiraloku og hleraloka í inntakinu. Þessi smíði var í samræmi við verkhönnun lokuvirkisins. Í tilraununum kom í ljós að í öllum meginatriðum var hönnunin fullnægjandi. Síðar breytti Landsvirkjun hönnunarforsendum um notkun botnrásar. Í framhaldi af því var ákveðið að engin geiraloka yrði á byggingartíma stíflunnar, en síðan yrði botnrásin þrengd og minni geiraloka sett í, heldur en upphaflega var áætlað.

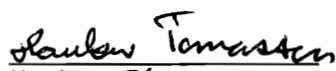
Í líkantilrauninni var flutningsgeta botnrásarinnar mæld bæði á byggingartíma og rekstrartíma virkjunarinnar, og ýmsir vankantar lagfærðir neðan geiraloku og við varaloku.

Virðingarfyllst

ORKUSTOFNUN
Vatnsorkudeild

ORKUSTOFNUN
Straumfræðistöð

Verkfræðistofan
VATNASKIL h.f.


Haukur Tómasson


Björn Erlendsson


Snorri Páll Kjartan

EFNISYFIRLIT

MYNDA- OG TÖFLUSKRÁ

LJÓSMYMDASKRÁ

1.	INNGANGUR	5
2.	LÝSING MANNVIRKJA OG LÍKANSMÍÐI	6
2.1	Mannvirki	6
2.2	Helstu stærðir	6
2.3	Líkanmælikvarði	6
2.4	Smíði líkans	9
3.	FYRIRKOMULAG MÆLINGA	10
3.1	Rennslismæling	10
3.2	Vatnshæðarmæling	10
3.3	Lokuop	10
4.	UPPHAFLEG HÖNNUN MANNVIRKJA	12
4.1	Fyrstu prófanir og lagfæringar	12
4.2	Flutningsgeta botnrásar	12
4.3	Fræðilegir útreikningar á rennslislykli	14
5.	LÍKAN BOTNRÁSAR Á BYGGINGARTÍMA	17
5.1	Breytingar á gerð botnrásar	17
5.2	Straumlag í botnrásarinntaki	17
5.3	Flutningsgeta botnrásar án geiraloku	19
5.4	Fræðilegir útreikningar á rennslislykli	20
5.5	Prófanir með breytilegt varalokuop	21
5.6	Fræðilegir útreikningar á rennslislykli fyrir breytilegt varalokuop	24
6.	LÍKAN BOTNRÁSAR Í ENDANLEGRI GERÐ	27
6.1	Prófanir með geiraloku	27
6.2	Flutningsgeta botnrásar	27
6.3	Fræðilegir útreikningar á rennslislykli	31
7.	NIÐURSTÖÐUR	33
	LJÓSMYNDIR	35
	VIÐAUKI : Skrá yfir líkөн	37

MYNDASKRÁ

Mynd 1.	Afstöðumynd	7
Mynd 2.	Blöndustífla, yfirlitsmynd	8
Mynd 3.	Uppsetning líkans og fyrirkomulag mæla	11
Mynd 4.	Upphafleg hönnun botnrásar	13
Mynd 5.	Rennslislykill fyrir líkan 2R	14
Mynd 6.	Stokkur og geiraloka í botnrás	15
Mynd 7.	Breytingar á botnrásarinntaki	18
Mynd 8.	Rennslislykill fyrir líkan 4R	19
Mynd 9.	Botnrás í endanlegri gerð	22
Mynd 10.	Rennslislykill fyrir líkan af botnrás á byggingartíma (líkan 8R)	23
Mynd 11.	Stokkur og varaloka í botnrás	24
Mynd 12.	Þrengingarstuðull fyrir mismunandi varalokuop, líkan 8R	25
Mynd 13.	Botnrás í endanlegri gerð, langsnið	28
Mynd 14.	Rennslislykill fyrir botnrás í endanlegri gerð, líkan 9R	29
Mynd 15.	Þrengingarstuðull fyrir mismunandi geiralokuop	31

TÖFLUSKRÁ

Tafla 1.	Mældur rennslislykill, líkan 2R	12
Tafla 2.	Mældur og reiknaður rennslislykill, líkan 2R	16
Tafla 3.	Mældur rennslislykill, líkan 4R	20
Tafla 4.	Mældur og reiknaður rennslislykill, líkan 4R	20
Tafla 5.	Rennsli undir varaloku, breytilegt lokuop, líkan 8R fyrir botnrás á byggingartíma	21
Tafla 6.	Mældur og reiknaður rennslislykill, líkan 8R fyrir botnrás á byggingartíma	26
Tafla 7.	Mældur rennslislykill, fyrir botnrás í endalegir gerð	30
Tafla 8.	Mældur og reiknaður rennslislykill, fyrir botnrás í endanlegri gerð	32

LJÓSMYNDASKRÁ

Ljósmynd 1. Yfirlitsmynd af lokalíkani

Ljósmynd 2. Líkan 3R, ólga í vatni, áður en lagfæringar voru gerðar.
Rennsli um 300 m³/s

Ljósmynd 3. Líkan 3R eftir að lagfæringar voru gerðar.
Rennsli um 300 m³/s

Ljósmynd 4. Líkan 9R, lokalíkan

1. INNGANGUR

Líkanprófun á botnrás í Blöndustíflu við Reftjarnarbungu var liður í lokahönnun þessa mannvirkis Blönduvirkjunar. Tilgangurinn var að kanna flutningsgetu botnrásarinnar og straumlag í hinum ýmsu hlutum mannvirkisins. Tilraunin var gerð samkv. samningi við Landsvirkjun en verkfræðiráðgjafi er Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen h.f. (VST).

Verkfræðistofan Vatnaskil h.f. veitti Orkustofnun faglega ráðgjöf vegna tilraunanna.

Smíði líkansins hófst í júlí 1983, en mælingar og breytingar á líkani stóðu yfir með hléum frá ágúst 1983 til september 1984.

Líkan af botnrás var fyrst smíðað í stærðinni 4 x 5 m (þverskurður stokks) með geiraloku við neðri enda af stærðinni 4,7 x 3,2 m. Varaloka var ofan við geiraloku og hleraloka í inntakinu.

Síðar var fyrirkomulagi lokubúnaðar breytt verulega samkvæmt ákvörðun Landsvirkjunar í samráði við verkfræðiráðgjafa.

Gerð er grein fyrir þessum breytingum í kafla 2, þar sem mannvirkjum og líkansmíðinni er lýst.

Fjallað er um fyrirkomulag mælinga í kafla 3. Kafla 4 greinir frá prófunum á upphaflegu líkani, fyrir þá meginbreytingu sem minnst hefur verið á, og kaflar 5 og 6 lýsa prófunum eftir þá breytingu.

Miklar rannsóknir hafa verið gerðar erlendis á mannvirkjum sem þessum. Má þar nefna norskar rannsóknir á lokum (sjá "Vassdrags og havnelaboratoriet, 1974: Retningslinier for hydraulisk utformning af tappeluker"). Á síðustu árum hafa verið gerðar tilraunir innanlands á flutningsgetu botnrása (sjá "SULTARTANGAVIRKJUN - Líkan af botnrás Sultartangastíflu" OS-84062/VOD-07, og ("BLÖNDUVIRKJUN, Líkantilraun á lokuvirki við Kolkuhól", OS-84084/VOD09).

2. LÝSING MANNVIRKJA OG LÍKANSMÍÐI

2.1 Mannvirki

Blanda verður stífluð við Reftjarnarbungu en þar er hún í 440 m y.s. Um verður að ræða jarðstíflu, um 800 m langa og 43 m háa. Vestan við farveg Blöndu verður botnrás undir stíflunni, sjá myndir 1 og 2. Blöndu verður veitt um botnrásina á meðan stíflugerð stendur. Eftir það verður botnrásin notuð þegar lækka þarf í uppistöðulóni vegna viðgerða eða eftirlits; einnig þegar Blöndustífla verður hækkuð í framtíðinni. Þá mun botnrásin koma að notum í miklum flóðum.

Eins og getið er um í 1. kafla var upphaflega gert ráð fyrir botnrásarstokki 4 x 5 m í þverskurð og um 100 m löngum með geiraloku við neðri enda 4,7 x 3,2 m að stærð, varaloku þar ofan við og auk þess hleraloku í inntaki, sjá mynd 4. Samkvæmt tillögu Jónasar Elíassonar var ákveðið að geiralokan yrði ekki sett upp fyrr en eftir að búið væri að taka botnrásina í notkun og yrði hún 2,6 x 2,6 m að stærð. Stokkurinn yrði 4 x 4 m og varaloka aðeins höfð í inntaki (vökvadrifin hjólaloka), sjá mynd 13.

Líkanið var upphaflega smíðað eftir fyrrnefndu tillöguninni en var síðan breytt í það horf sem hinar nýju tillögur gerðu ráð fyrir.

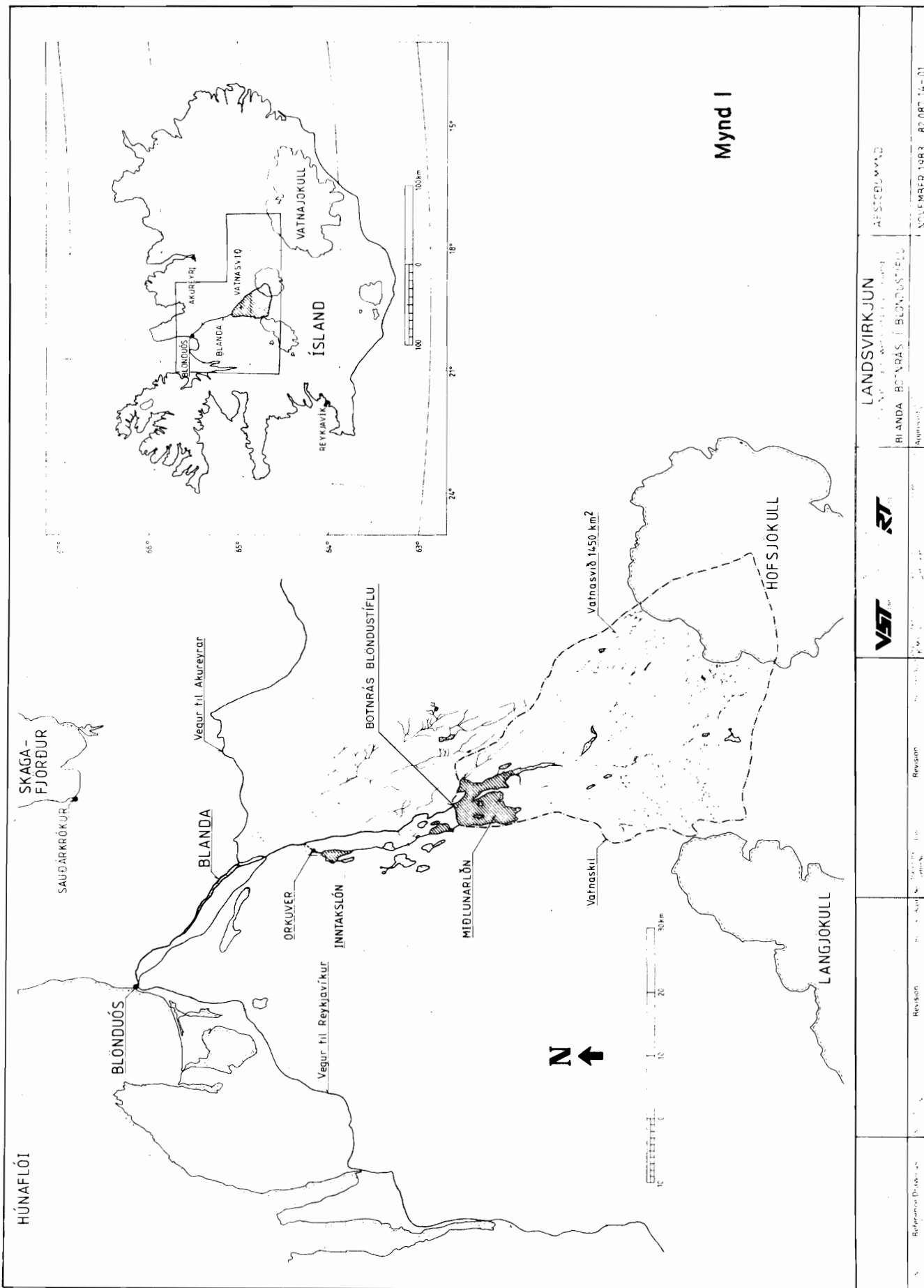
2.2 Helstu stærðir

Mesta rennsli um botnrás án geiraloku um	345 m ³ /s
Mesta rennsli um botnrás með geiraloku um	160 m ³ /s
Hæsta vatnsborð í lóni	479,5 m y.s.
Lægsta vatnsborð í lóni	465,5 m y.s.
Hæð botnrásarinntaks (botnhæð)	440 m y.s.
Stærð botnrásar (endanleg gerð)	16 m ²
Lengd botnrásar (endanleg gerð)	100 m
Stærð varalokuops (endanleg gerð)	4,0 x 4,0 m
Stærð geiralokuops (endanleg gerð)	2,6 x 2,6 m

2.3 Líkanmælikvarði

Mælikvarði líkans var valinn 1:25. Kvarðar stærða í líkaninu verða þá samkvæmt Froudes líkanlögmáli eftirfarandi:

Lengd, breidd og hæð	1: 25
Hraði og tími	1: $\sqrt{25}$ = 1:5
Rennsli	1: 25 ^{2,5} = 1:3125



Mynd 1

<p>Stofnun Orkuskiptisráðs Íslands</p>	<p>Revisjon</p>	<p>Revisjon</p>	<p>LANDSVIRKJUN</p>	<p>AFSTEDUMVÁÐ</p>
<p>Blönduós</p>	<p>Blönduós</p>	<p>Blönduós</p>	<p>BLANDA - BOTNÁRÁS FLÖNDUSTÍFLU</p>	<p>NOVEMBER 1983 - 82.087.14-01</p>

2.4 Smíði líkans

Líkanið var smíðað eftir teikningum frá Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen. Inntaki ásamt stuttum kafla af aðrennslisskurði var komið fyrir í ferhyrndum kassa sem er 1 m á breidd 2 m hár og 2 m langur. Vatnshæð í kassanum svarar til vatnshæðar uppistöðulónsins.

Vatnið rennur í kassann úr sama mælikeri og vatnið í líkanið af lokuvirki við Kolkuhól, (sjá "BLÖNDUVIRKJUN, Líkantilraun á lokuvirki við Kolkuhól, OS-84084/VOD-09"). Straumkast vatnsins er lagt með álneti og mottum, sjá mynd 3.

Tvær hliðar kassans eru úr vatnsheldum krossviði en hinar tvær, þ.e. ein hlið og einn endi eru úr gegnsæu plexigleri. Stífluflái og aðrennslisskurður í kassanum eru úr plexigleri. Varalokan sem er í neðri enda kassans er einnig smíðuð úr plexigleri. Í framhaldi kassans við varaloku liggur botnrásarstokkur og er hann úr plexigleri á steinsteyptri undirstöðu. Þá tekur við hallandi frárennslisskurður í boga, úr krossviði og blikki á stillanlegum undirstöðum. Sjá mynd 3 og ljósmynd 1, sem sýnir líkan í straumfræðistöð. Öll mál eru miðuð við vettvang nema annað sé tekið fram.

3. FYRIRKOMULAG MÆLINGA

3.1 Rennslismæling

Rennslismæliker með V-laga yfirfalli er notað í tilrauninni. Það er 1 m breitt, um 1,5 m langt og tæpur 1 m á hæð. Vatnið kemur inn í það að aftan, en það er leitt með 280 mm pípu að mælikerinu. Kerið er kvarðað miðað við V-laga yfirfall straumfræðistöðvar. Þetta mæliker er einnig notað í tilraunum með lokuvirki við Kolkuhól eins og áður er sagt. Líking fyrir mælikerið er:

$$Q = 1,304 h^{2,49} \text{ l/s}$$

Samkvæmt líkankvarða er rennslið margfaldað með 3125 til þess að fá rennsli á vettvangi.

3.2 Vatnshæðarmæling

Vatnshæð í kassa líkir eftir vatnshæð í uppistöðulóni. Vegna mikilla vatnsborðsbreytinga var ekki hægt að mæla vatnshæð með einum mæli. Komið var fyrir tveimur mælum, mæli A og B sjá mynd 3. Hæð mælanna miðað við líkanið er mæld. Eftirfarandi líkingar gefa vatnshæð í lóni í m y.s.

vhm	1A	v.h. lón = (h - 0,53)	0,25 + 439,59
vhm	1B	v.h. lón = (h - 3,28)	0,25 + 457,58

h álestur á mælana í cm.

3.3 Lokuop

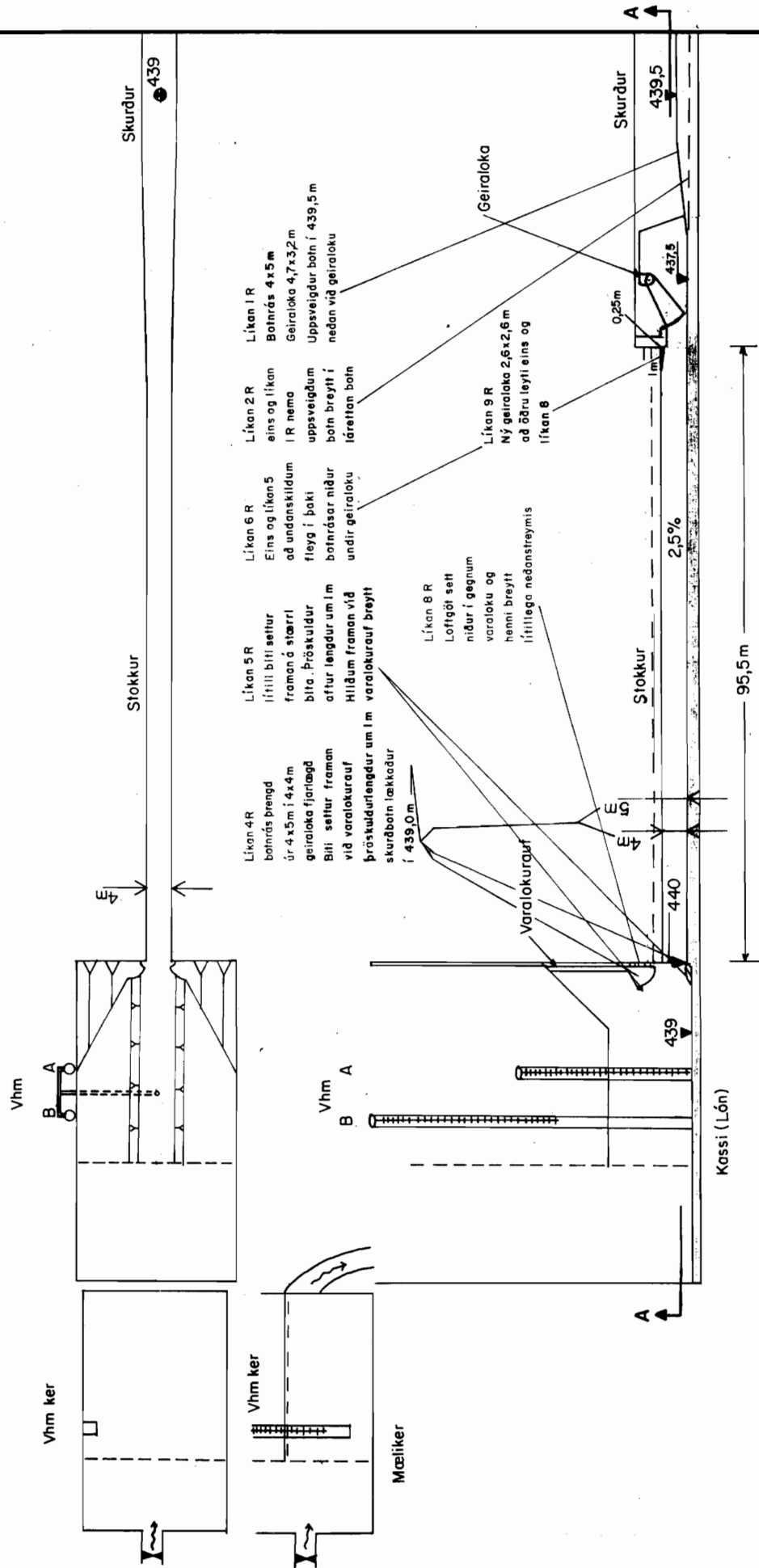
Op varaloku er stillt með álkubbum eins og í líkani af lokuvirki við Kolkuhól. Op af stærðinni 0,3 m, 0,4 m, 0,5 m, 0,6 m, 0,7 m, 0,9 m, 1,1 m og 1,9 m voru notuð í mælingum með varaloku. Við mælingar á geiraloku var opnun 0,52 m, 1,04 m, 1,56m, 2,08 m og 2,60 m eða sem svarar til 20%, 40%, 60%, 80% og 100% og er mælt með álkubbum eins og við varaloku. Ekki var talin ástæða til að mæla þrengingu vatnsgeislans, þegar hann kemur undan geiralokunni.

BLÖNDUVIRKJUN BOTNRÁS Í BLÖNDUSTÍFLU

Uppsetning líkans og fyrirkomulag mæla

Líkan 1:25
Teikn. VST nr. 82.087.00-13,14,67,68 og 69
Vhm ker : $Q_N = 4074 \sqrt{(h-14791)/100} 2,49$
Vhm IA : $vh.lón = (h-0,53) \cdot 0,25 + 439,59$
Vhm IB : $vh.lón = (h-3,28) \cdot 0,25 + 457,58$
4cm á teikningu = 1m líkan = 25m á vettvangi

h (cm), Q_N (m³/sek)
 h (cm), $Vh.lón$ (my.s.)
 h (cm), $Vh.lón$ (my.s.)



Skurður
● 439

Stokkur

Skurður
● 439,5

Líkan 1 R
Botnrás 4 x 5 m
Geiraloða 4,7 x 3,2 m
Uppsveigdur bali í 439,5 m
neðan við geiraloðu

Líkan 2 R
eins og líkan 1 R nema
upsveigðum
botnrásar niður
láréttan bali

Líkan 6 R
Eins og líkan 5
að undanskildum
fleyg í baki
botnrásar niður
undir geiraloðu

Líkan 5 R
lífillítt settur
framan á stærri
bita. Próskuldur
afhur lengdur um 1m
Hliðum framan við
varalokuráuf breytt

Líkan 4 R
botnrás brengd
úr 4 x 5 m í 4 x 4 m
geiraloða fjárlögð
Bíti settur framan
við varalokuráuf
próskuldurlengdur um 1m
varalokuráuf breytt
skurðbali lækkadur
í 439,0 m

Líkan 8 R
Lofliggót sett
niður í gegnum
varaloku og
henni breytt
lítillega neðanstreymis

Líkan 9 R
Ný geiraloða 2,6 x 2,6 m
að öðru leyti eins og
líkan 8

Geiraloða

Skurður
439,5

2,5%

Stokkur

439

Kassi (Lón)

95,5 m

440

439,5

0,25m

1m

439,5

A

A

B

B

A

A

A

4. UPPHAFLEG HÖNNUN MANNVIRKJA

4.1 Fyrstu prófanir og lagfæringar

Upphafleg gerð líkansins er sýnd á mynd 4. Fyrstu tilraunir með rennsli um botnrásina voru gerðar áður en skurður frá henni var smíðaður. Þá var rennsli út úr botnrásinni mjög órólegt og fór langt upp á hliðarveggi neðan við geiralokuna.

Frárennslisskurði með stillanlegri botnhæð var síðan komið fyrir, og um leið var fláum á hliðarveggjum í lokuvirkinu breytt. Eftir það varð rennsli jafnara neðan við lokuvirkið. Sjá ljósmyndir 2 og 3. Þá var hæð frárennslisskurðar stillt þannig að rennslislag í botnrás og lokuvirki yrði sem best.

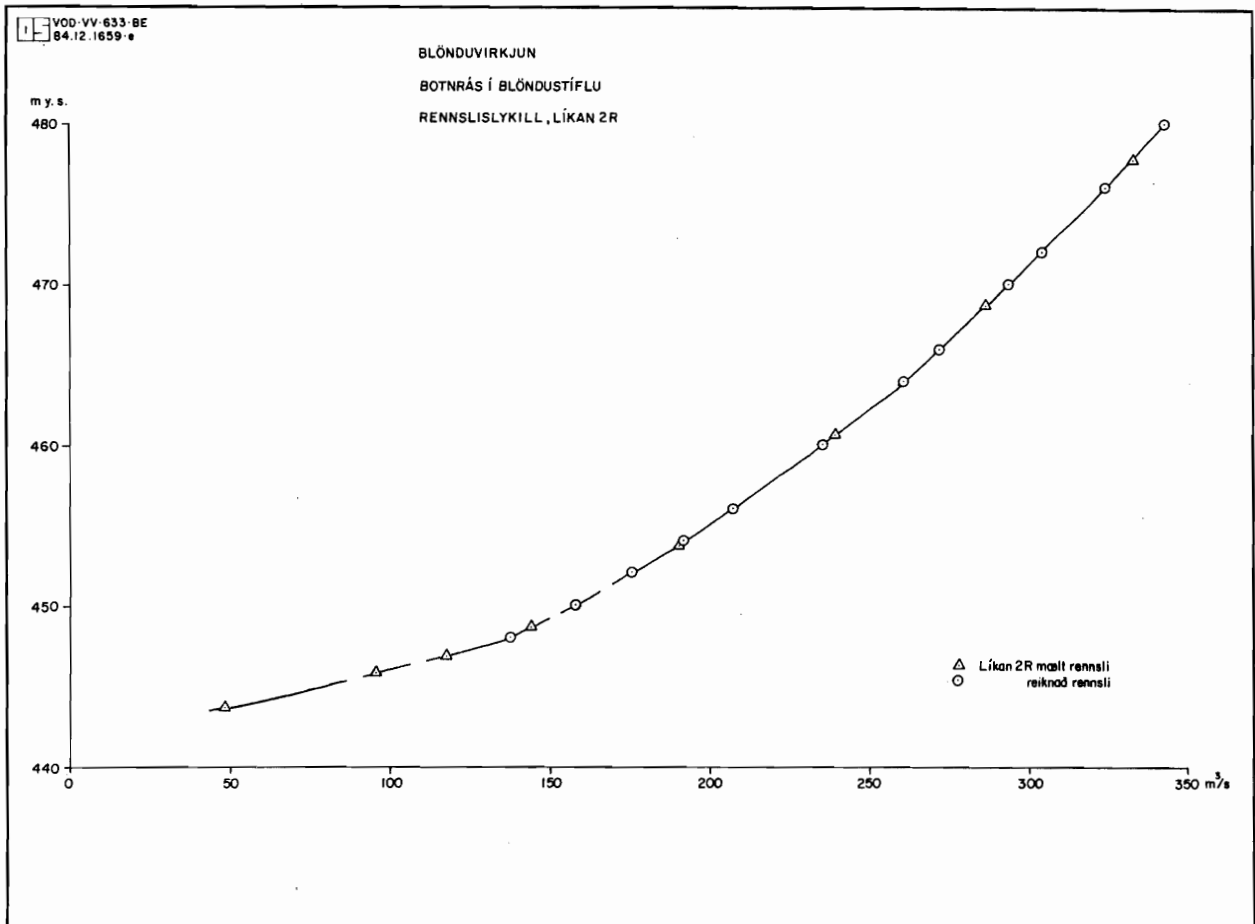
Mældur var rennslislykill með botni frárennslisskurðar í tveim mismunandi hæðum. Annars vegar stóð botninn tveimur metrum ofar en botn lokuops, hins vegar í sömu hæð. Flutningsgeta reyndist lítið eitt meiri með dýpri skurðinum og er rennslislykillinn sýndur í töflu 1 í kafla 4.2. Verður þessum prófunum ekki lýst nánar, þar sem líkaninu var síðan breytt í veigamiklum atriðum.

4.2 Flutningsgeta botnrásar

Flutningsgeta lokuvirkisins var mæld í líkani 2R, sjá mynd 3 og 4, og eru mælingar sýndar á mynd 5 og í töflu 1 við fullopna geiraloku. Rennsli við lónhæð 478 m y.s. er um 334 m³/s.

TAFLA 1. Mældur rennslislykill, líkan 2R

Rennsli Q m ³ /s	Lónhæð H m y.s.
48,48	443,72
95,61	445,86
117,95	446,82
144,11	448,62
190,68	453,61
239,26	460,59
286,63	468,66
333,05	477,85



MYND 5. Rennslislykill fyrir líkan 2R

4.3 Fræðilegir útreikningar á rennslislykli

Mæld flutningsgeta verður nú borin saman við fræðilega útreikninga. Flutningsgetan er eingöngu reiknuð fyrir hæstu lónhæðir til að bakvatnsáhrifa gæti ekki og til að tryggja að stökkur sé fullur. Orku- líking fyrir rennsli um stökk og geiralöku í botnrás er:

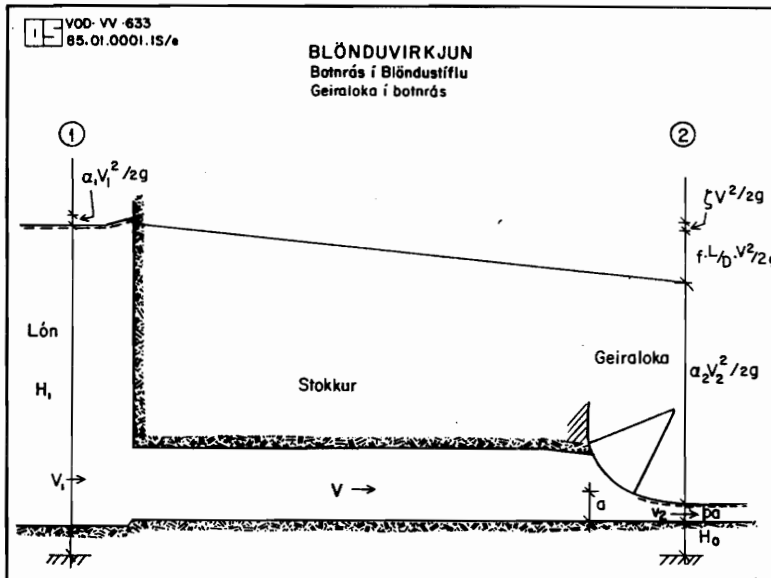
$$H_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = H_0 + b \cdot a + \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2g} + \zeta \cdot \frac{V^2}{2g} + f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (1)$$

þar sem:

- H_1 : Vatnshæð í lóni, m y.s.
- H_0 : Botnkóti í botnrás við geiraloku, m y.s.
- α_1 : Hraðadreifingarstuðull í lóni
- α_2 : Hraðadreifingarstuðull í þrengingu
- V_1 : Hraði í lóni, m/s
- V_2 : Hraði í þrengingu, m/s
- V : Hraði í botnrás, m/s
- a : Hæð lokuops, m
- b : Þrengingarstuðull
- ζ : Innstreymisstuðull fyrir orkutap
- f : núningsstuðull í botnrás
- L : lengd botnrásar, m
- D : þvermál botnrásar, m

Sjá mynd 6 til frekari skýringa. Samkvæmt þessu er rennslið þá gefið með eftirfarandi líkingu :

$$Q = \sqrt{\frac{H_1 - H_0 - b \cdot a}{\frac{1}{2g} \left(\frac{\alpha_2}{A_2} + \frac{\zeta}{A^2} + \frac{f \cdot L}{A^2} - \frac{\alpha_1}{A_1} \right)}} \quad (2)$$



Mynd 6. Stokkur og geiraloka í botnrás.

Þar sem A_1 er þverskurðarflatarmál í lóni, A er þverskurðarflatarmál stokks og A_2 er þverskurðarflatarmál í þrengingu. Flatarmál lóns er langstærst, þannig að liðurinn, sem inniheldur það er hverfandi lítil. Rennsli og þrengingarstuðull er reiknað fyrir líkan, og rennslið síðan borið saman við mælingar. Hrífi fyrir plexigler í líkani er áætlað:

$$k(\text{líkan}) = 0,01 \text{ mm}$$

Stuðlunum er breytt þar til besta samræmi fæst milli mældra og reiknaðra stærða. Við reikningana var notað reikniforrit frá Verkfræðistofunni Vatnaskil. Besta lausn fékkst með:

$$\alpha_2 = 1,1$$
$$\zeta = 0,1$$

Í töflu 2 er gefið mælt og reiknað rennsli.

TAFLA 2. Mældur og reiknaður rennslislykill, líkan 2R

H lónhæð	Op geira- loku	Q mæl	Q reiknað	Núnings- stuðull	Dýpi í þreng- ingu	Þreng- ingar stuðull	Summa kvaðrat- mismuna
m y.s	%	m ³ /s	m ³ /s	f	m	p	
460,59	100	239,26	239,05	0,015	4,49	0,956	0,061
468,66	100	286,63	286,76	0,014	4,49	0,956	
477,85	100	333,05	332,05	0,014	4,49	0,956	

Ágætt samræmi er milli mældra og reiknaðra stærða. Reiknaður rennslislykill er einnig sýndur á mynd 5. Miðað við sama núningsstuðul á vettvangi og í líkani við 100 m³/s rennsli ætti hrífi á vettvangi að vera:

$$k(\text{vettvangur}) = 1,5 \text{ mm}$$

Hrífi í steiptum stökk með sléttum mótum er líklega 1 mm eða minna, þannig að líkanið ofmetur hrífið og vanmetur því flutningsgetu lítillega.

5. LÍKAN BOTNRÁSAR Á BYGGINGARTÍMA

5.1 Breytingar á gerð botnrásar

Eins og fram kemur í 2. kafla var hönnun botnrásarinnar breytt verulega eftir að líkanið var smíðað í upphaflegri gerð.

Meginbreytingar voru þær, að botnrásarstokkur var þrengdur í 4x4 m, og varaloka aðeins höfð í botnrásarinntaki, en var áður einnig ofan við geiralokuna. Annars vegar var gert ráð fyrir að engin geiraloka væri til staðar (þá miðað við byggingartíma), en hins vegar að geiralokan 2,6 x 2,6 m væri á sýnum stað og stokkur þrengdur að henni, (þá miðað við fullgerð mannvirki, sjá 6. kafla).

Aðrar breytingar voru þær, að þrenging í botnrásarinntaki var gerð með mýkri sveigum en áður í því skyni að bæta straumlag í inntakinu. Þessar breytingar voru gerðar í tveimur áföngum (líkan 4R og 5R, sjá myndir 3 og 7).

5.2 Straumlag í botnrásarinntaki

Við fullopna botnrás kom í ljós mikil ólga í rennslinu í og við varalokuraufina. Hringiður sáust í lokuraufunum, eins og algengt er við mikinn straumhraða, og vatn skvettist upp í raufina yfir inntakinu.

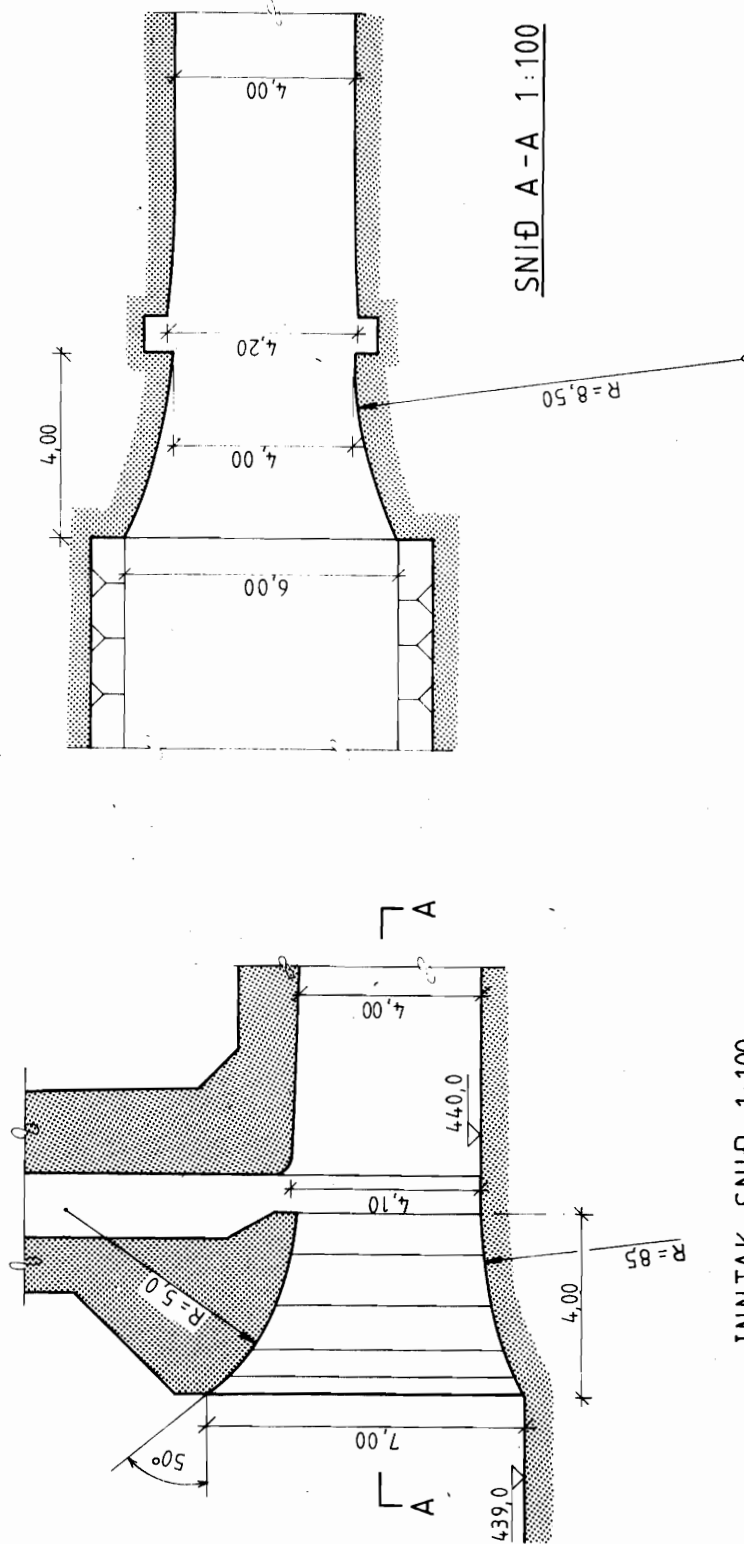
Reynt var að breyta þessu með ýmsum minniháttar lagfæringum, og skal hér hinna helstu getið (sjá mynd 3) :

1. Straumhönnun inntaks bætt með mýkri sveigjum í þrengingu við inntak.
2. Horn, þar sem botnrásarþak og lokurauf mætast, slípað og gert ávalt.
3. Útrennslisop botnrásar þrengt lítillega með fleyg sem festur var í þakið (þrenging 0,25 m).
4. Neðri brún varaloku lagfærð til að líkjast betur hinni raunverulegu loku og loftrásir gerðar í lokuna til að tryggja óhindraðan aðgang lofts að vatnsyfirborði í lokuraufinni (líkan 8R).

Við þessar lagfæringar breyttist straumlagið ekki verulega en lagaðist þó lítið eitt.

Þeir gallar á straumlagi, sem lýst hefur verið, koma fyrst fram við meira rennsli en 100 m³/s.

Mynd 7



INNTAK SNIÐ 1:100

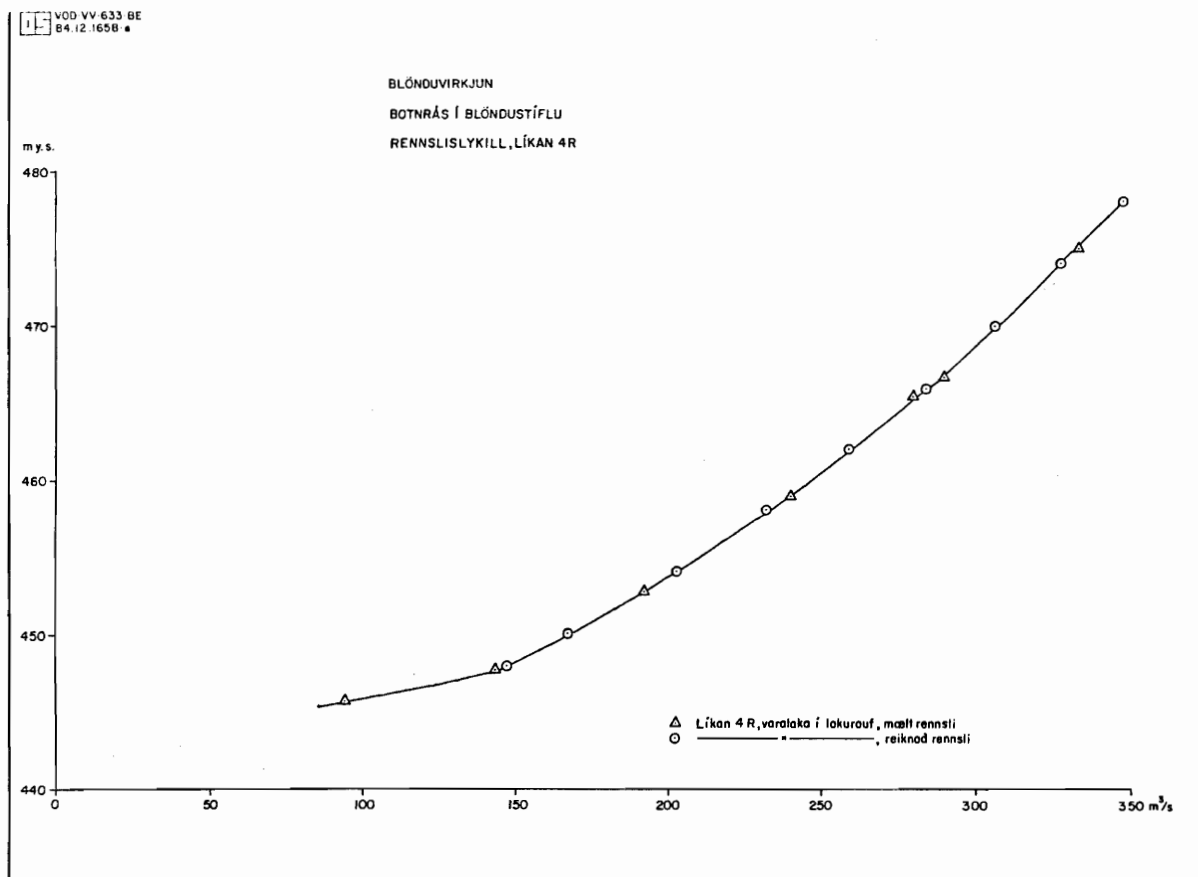
Líkan 5R, breytingar

Mál eru í m

Teikn. nr.	Þriðjun & teikningu	Br.	Daga.	Eðli breytingar	Br.	Yfi	Samb.	Handað S.H.	ROB	Vernd	Samb.	Deftun	DES. 1983	Ver. nr.	82.087-000	nr.	68
<p>VST VERKFRÆÐISTOFA SIGURDAR THOROÐSEN NI VERKFRÆÐIÞRAGJAFAR FRV 105 Reykjavík, Arnarh. 4. Sími: (81) 8 44 86 Farsími: 246 41 4 600 Akureyri, Geirsgata 36. Sími: (86) 2 74 43 310 Borgarnes, Borgargata 17. Sími: (81) 73 17 420 Akureyri, Akureyrihvarf 11. Sími: (86) 37 88</p>																	
<p>LANDSVIRKJUN BLONDUVIRKJUN BOTNÁR SARINNTAK, BREYTING LÍKANS</p>																	

5.3 Flutningsgeta botnrásar án geiraloku.

Flutningsgeta fullopinnar botnrásar, sem miðast við rennsli á byggingartíma, var mæld eftir hverja breytingu á líkaninu. Litlar breytingar urðu á rennslislyklinum við breytingar á inntakinu. Niðurstöður fyrir líkan 4R, sjá mynd 3, eru í töflu 3, sjá einnig mynd 8.



MYND 8. Rennslislykill fyrir líkan 4R

TAFLA 3. Mældur rennslislykill

Rennsli m ³ /sek	Lónhæð m y.s.
333,95	475,05
290,58	467,16
280,65	465,42
240,75	458,88
192,80	452,61
146,73	448,03
144,11	447,72
94,86	445,64

5.4 Fræðilegir útreikningar á rennslislykli

Niðurstöður mælinga hafa verið bornar saman við fræðilega útreikninga á rennslinu. Rennsli fyrir fullopna varaloku er gefið með jöfnu 2 úr kafla 4.3. Besta lausn fékkst fyrir:

$$\alpha_2 = 1,1$$

$$\zeta = 0,1$$

Til frekari skýringar sjá kafla 4.3 og mynd 6. Nú er engin geiraloka í enda botnrásar. Í töflu 4 er gefið mælt og reiknað rennsli

TAFLA 4. Mældur og reiknaður rennslislykill, líkan 4R

H Lón- hæð	Op vara- loku	Q mælt	Q reiknað	Núnings- stuðull	Dýpi í þreng- ingu	Þreng- ingar stuðull	Summa kvaðrat mismuna
m y.s.	%	m ³ /s	m ³ /s	f	m	þ	
465,42	100	280,65	280,76	0,014	3,92	0,98	0,294
467,16	100	290,58	291,00	0,014	3,92	0,98	
475,05	100	333,95	333,62	0,014	3,92	0,98	

Ágætt samræmi er milli mældra og reiknaðra stærða. Reiknaður rennslislykill er einnig sýndur á mynd 8 og þá sést að mældu og reiknuðu rennsli ber mjög vel saman. Við rennsli 100 m³/s verður sami núningsstuðull í líkani og á vettvangi fyrir eftirfarandi hrýfi:

$$k(\text{vettvangur}) = 1,0 \text{ mm}$$

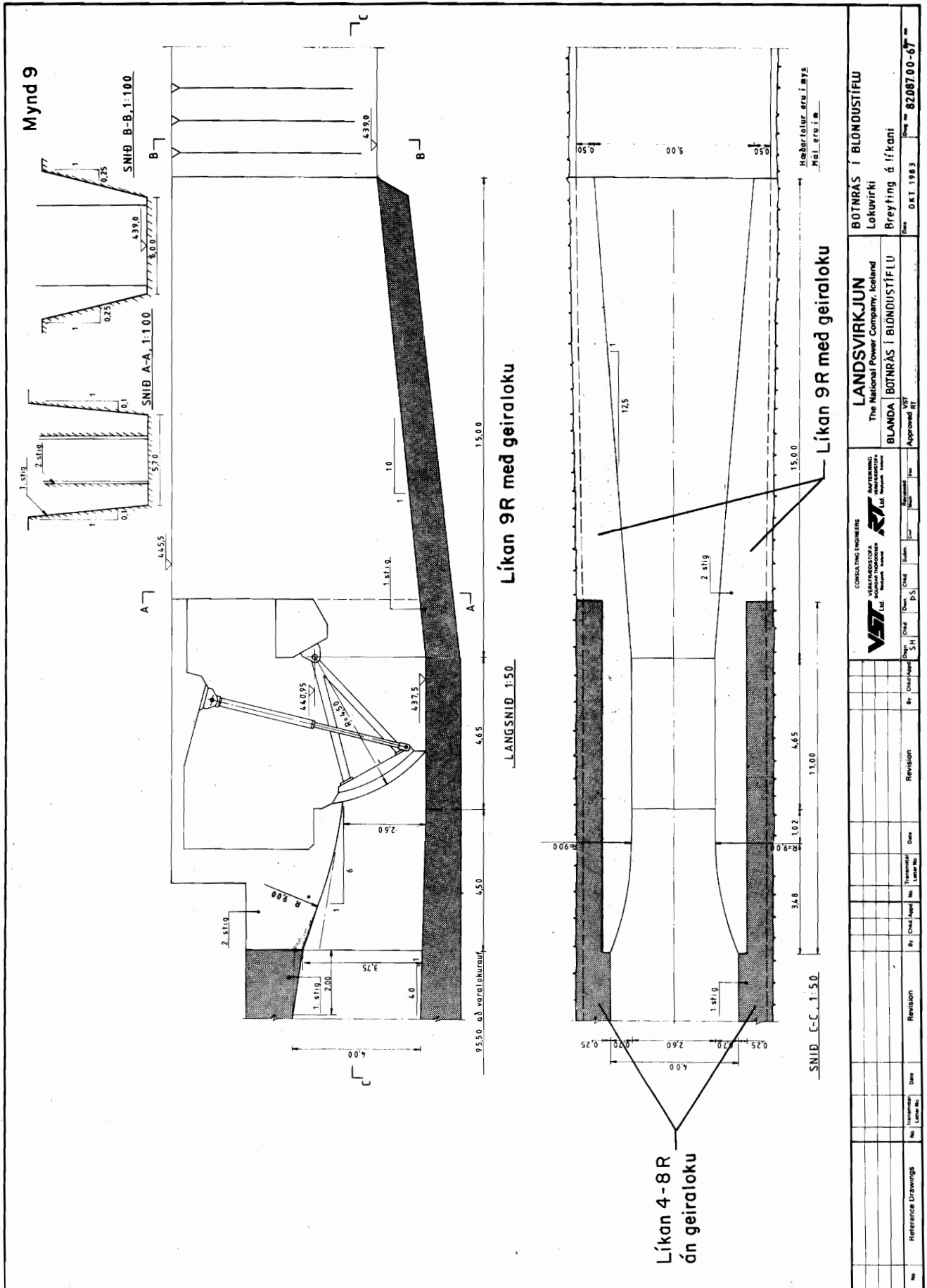
Þetta svarar vel til hrýfis í steiptum stokk með sléttum mótum.

5.5 Prófanir með breytilegt varalokuop

Prófað var rennsli með mismunandi stóru opi undir varaloku. Stilling rennslis á vettvangi með þessu móti er þó talin varasöm vegna hættu á titringi í lokubúnaðinum. Þessar prófanir voru fyrst og fremst notaðar við rennsli á bilinu 15 - 40 m³/s og tilsvareandi lokuop sem öll eru innan við 50% af fullopnu. Flutningsgeta botrásarinnar var mæld í líkani 8R, sjá myndir 3 og 9. Niðurstöður mælinga eru sýndar á mynd 10 og í töflu 5.

TAFLA 5. Rennsli undir varaloku, breytilegt lokuop, líkan 8R fyrir botnrás á byggingartíma.

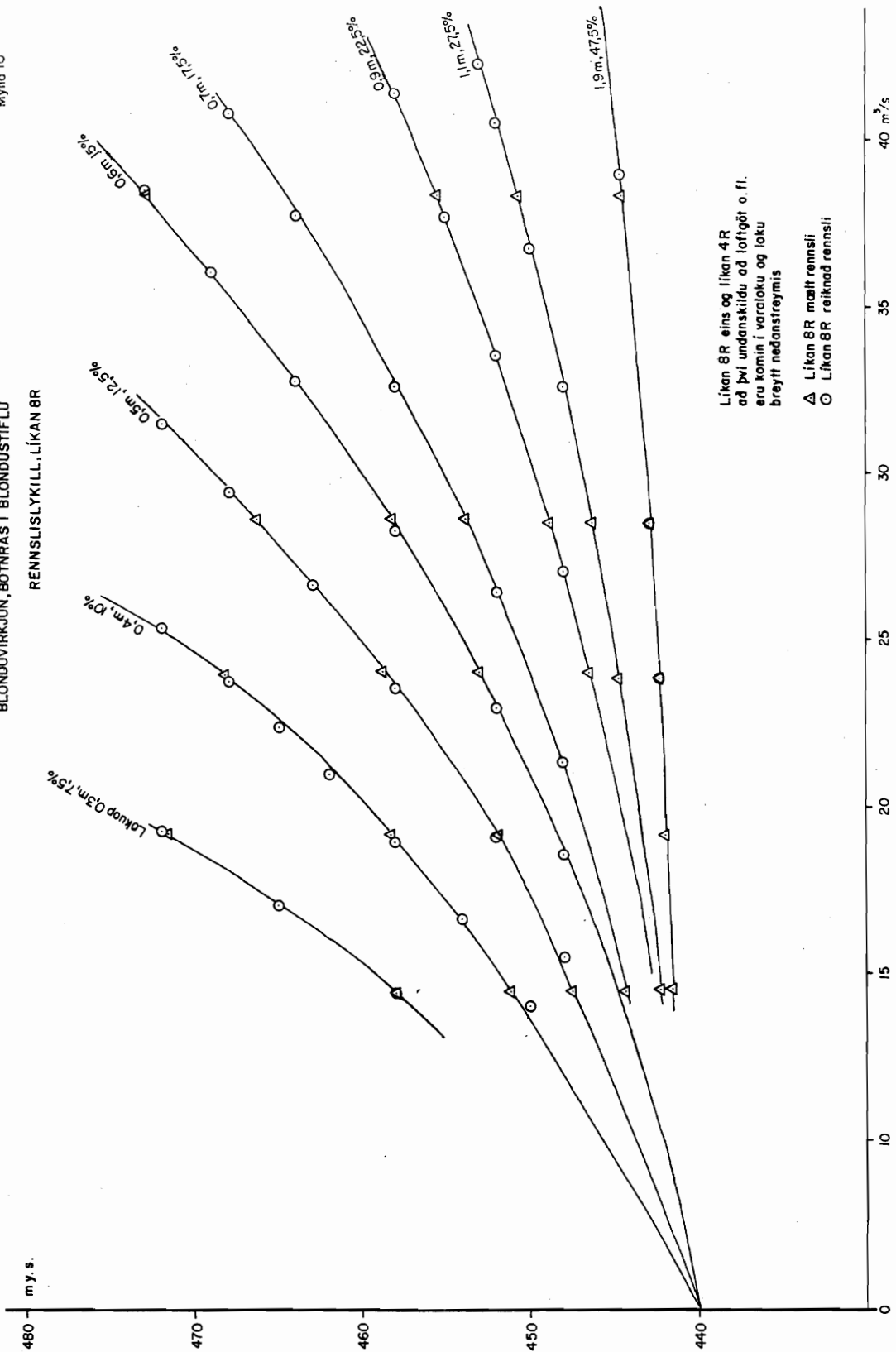
Rennsli m ³ /s	Lónshæð m y.s.	Lokuop m
14,57	441,59	1,90
14,57	442,10	1,10
14,50	444,34	0,70
14,50	447,54	0,50
14,50	451,10	0,40
14,43	458,06	0,30
19,20	471,59	0,30
19,20	458,36	0,40
19,20	451,94	0,50
19,20	441,91	0,90
23,86	442,21	1,90
23,86	444,73	1,10
24,05	446,50	0,90
24,05	453,14	0,60
24,05	458,77	0,50
23,95	468,23	0,40
28,66	466,31	0,50
28,66	458,24	0,60
28,66	453,83	0,70
28,56	448,83	0,90
28,56	446,32	1,10
28,56	442,96	1,90
38,32	444,62	1,90
38,32	450,68	1,10
38,32	455,49	0,90
38,32	464,56	0,70
38,32	472,96	0,60



VOD-VV-633-BE
84-12-1657 e

Mynd 10

BLÖNDUVIRKJUN, BOTNRÁS Í BLÖNDUSTÍFLU
RENNISLISLYKILL, LÍKAN 8R



Líkan 8R eins og líkan 4R
að því undanskildu að loftgöt o. fl.
eru komin í varaloku og loku
breytt nedanstreymis

△ Líkan 8R mælt rennsli
○ Líkan 8R reiknað rennsli

40 m³/s

35

30

25

20

15

10

0

480

470

460

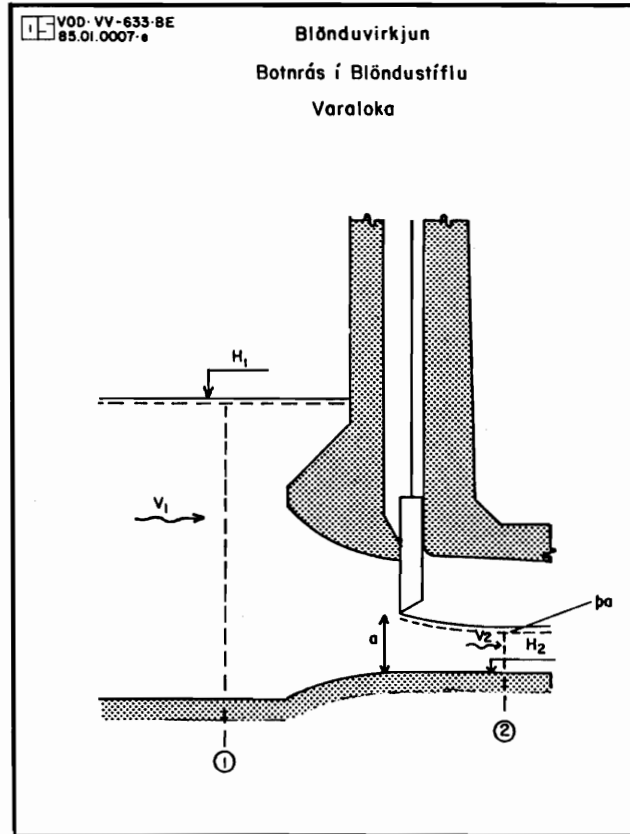
450

440

m.y.s.

5.6 Fræðilegir útreikningar á rennslislykli fyrir breytilegt varalokuop.

Mælingar hafa verið bornar saman við fræðilega útreikninga á rennslinu. Mynd 11 sýnir botnrás, þegar varaloka er ekki fullopin og stokkur ekki fullur.



Mynd 11. Stokkur og varaloka í botnrás.

Orkulíkingin fyrir rennslid er nú gefin með:

$$H_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = H_0 + p \cdot a + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + \zeta \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

Þar sem allar stærðir hafa verið skilgreindar á eftir jöfnu 1. Rennslid er gefið með eftirfarandi jöfnu:

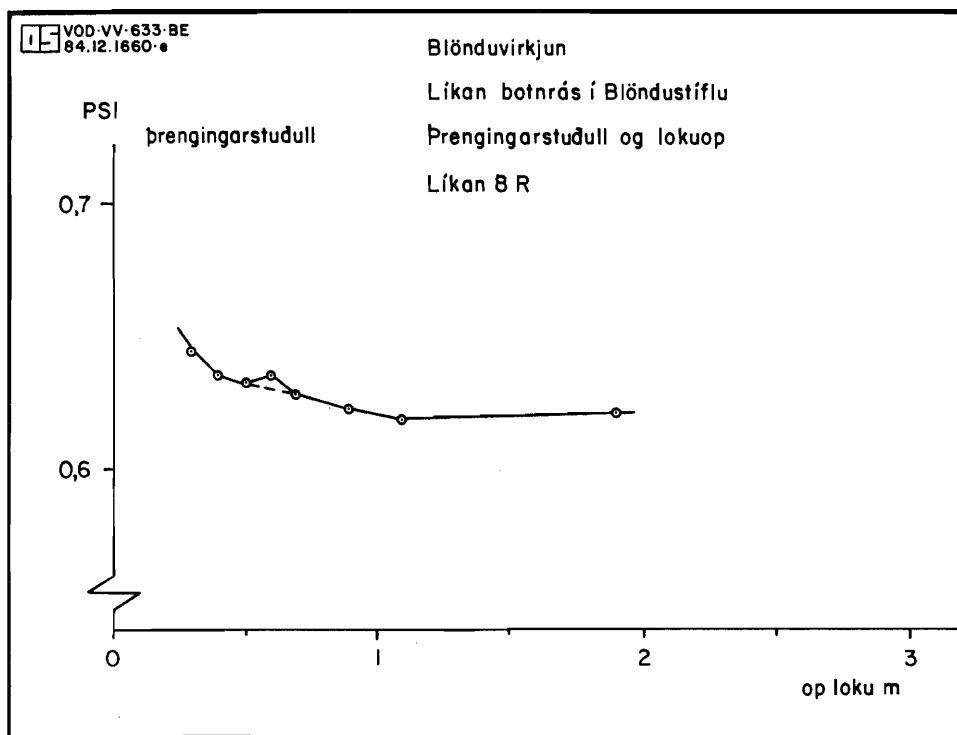
$$Q = \sqrt{\frac{H_1 - H_0 - p \cdot a}{\frac{1}{2g} \left(\frac{\alpha_2}{A_2^2} + \frac{\zeta}{A^2} - \frac{\alpha_1}{A_1^2} \right)}} \quad (4)$$

Þar sem A_1 er þverskurðarflatarmál í lóni og er því α_1/A_1^2 mjög lítil stærð. A_2 er flatarmál í þrengingu og A flatarmál lokuops. Rennslid og þrengingarstuðull er nú reiknað fyrir líkan 8R samkvæmt jöfnu 4 og rennslid síðan borið saman við mælingar. Stuðlunum er breytt þar til besta samræmi næst milli mældra og reiknaðra stærða.

Við reikingana var notað reikniforrit frá Verkfræðistofunni Vatnaskil. Besta lausn fékkst með:

$$\alpha_2 = 1,1$$
$$\zeta = 0,1$$

Í töflu 6 er gefið mælt og reiknað rennsli. Ágætt samræmi er milli mældra og reiknaðra stærða. Reiknaður rennslislykill er einnig sýndur á mynd 10. Mynd 12 sýnir fræðilegan þrengingarstuðul sem fall af opnun varaloku.



MYND 12. Þrengingarstuðull fyrir mismunandi varalokuop, líkan 8R

TAFLA 6. Mældur og reiknaður rennslislykill, líkan 8 fyrir botnrás á byggingartíma

H lón- hæð	Op vara- loku	Rennsli Q mælt	Rennsli Q reiknað	Dýpi í þreng- ingu	Þreng- ingar- stuðull	Summa kvaðrat- mismuna
m y.s.	%	m ³ /s	m ³ /s	m	þ	
442,21	47,5	23,86	22,19	1,177	0,620	3,195
442,96	47,5	28,56	28,50	1,177	0,620	
444,62	47,5	38,32	38,97	1,177	0,620	
442,10	27,5	14,57	14,60	0,680	0,618	0,261
444,73	27,5	23,86	24,29	0,680	0,618	
446,32	27,5	28,56	28,61	0,680	0,618	
450,68	27,5	38,32	38,05	0,680	0,618	
446,50	22,5	24,05	24,17	0,560	0,622	0,020
448,83	22,5	28,56	28,51	0,560	0,622	
455,49	22,5	38,32	38,28	0,560	0,622	
444,34	17,5	14,50	15,37	0,439	0,627	0,840
453,83	17,5	28,66	28,42	0,439	0,627	
464,56	17,5	38,32	38,14	0,439	0,627	
453,14	15,0	24,05	24,05	0,380	0,634	0,055
458,24	15,0	28,66	28,45	0,380	0,634	
472,96	15,0	38,32	38,43	0,380	0,634	
447,54	12,5	14,50	15,03	0,316	0,631	0,326
451,94	12,5	19,20	19,06	0,316	0,631	
458,77	12,5	24,05	34,02	0,316	0,631	
466,31	12,5	28,66	28,50	0,316	0,631	
451,10	10,0	14,50	14,82	0,254	0,635	0,128
458,36	10,0	19,20	19,15	0,254	0,635	
468,23	10,0	23,95	23,80	0,254	0,635	
458,06	7,5	14,43	14,46	0,193	0,644	0,002
471,59	7,5	19,20	19,17	0,193	0,644	

6. LÍKAN BOTNRÁSAR Í ENDANLEGRI GERÐ

6.1 Prófanir með geiraloku

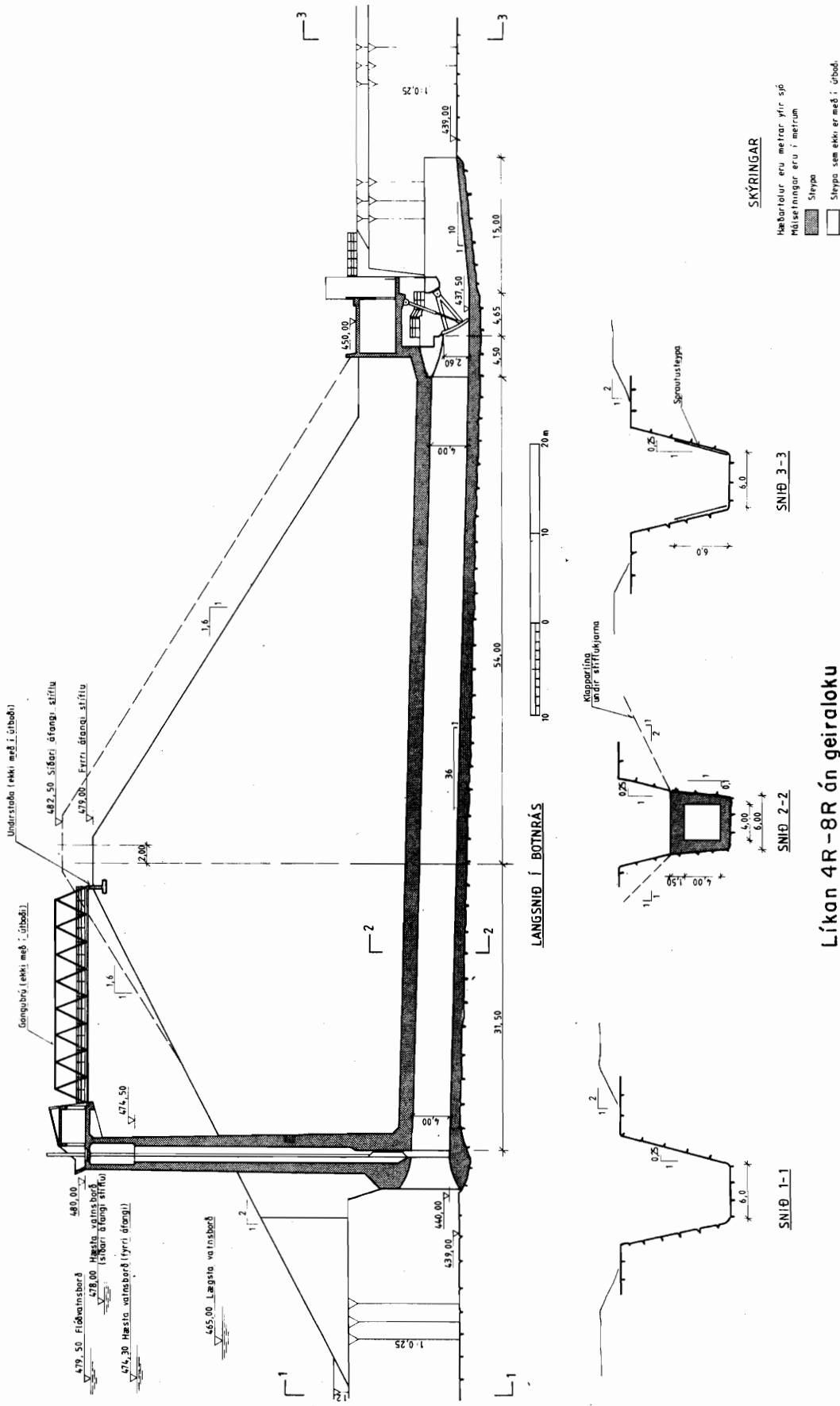
Að loknum prófunum með rennsli á byggingartíma var þrenging með geiraloku sett við neðri enda botnrásar. Stærð geiralokunnar er 2,6 x 2,6 m.

Straumlag í botnrásinni er nú með allt öðru móti en í fyrri hluta prófananna, því að þrengingin við geiralokuna takmarkar straumhraða í inntakinu og stöknum og engin ólga eða hvirfilmyndun kemur fram við varalokuna.

6.2 Flutningsgeta botnrásar

Flutningsgeta botnrásarinnar var mæld í líkani 9R, sjá myndir 3 og 13, og eru mælingar sýndar á mynd 14 og í töflu 7 fyrir mismunandi opnun geiraloku. Rennslið reyndist vera svipað og gert var ráð fyrir í hönnun mannvirkisins.

Mynd 13



Líkan 4R-8R án gearaloku
 Líkan 9R með gearaloku

Landsvirkjun The National Power Company, Iceland BLANDA BOTNRÁS Í BLÖNDUSTÍFLU		Approved RT	
Consulting Engineers VASK & SÓLVEIG Ingvar Vask & Sólveig		Approved RT	
No.	Revised	Date	By
Revision No. Description Date By			
Reference Drawings		No.	Description
6	FÍRISHYNG		
NOVEMBER 1983		82.08.7.14-07	

TAFLA 7. Mældur rennslislykill, fyrir botnrás í endanlegri gerð

Rennsli $\frac{Q}{m^3/s}$	Lónhæð m y.s.	Lokuop %
16,68	454,33	20
20,16	461,81	20
25,09	476,20	20
24,52	447,89	40
30,20	452,75	40
39,45	463,29	40
44,91	470,74	40
49,49	477,62	40
34,82	447,65	60
49,56	456,99	60
59,28	464,53	60
70,25	475,06	60
74,15	479,40	60
44,98	446,77	80
59,93	452,44	80
69,63	457,26	80
80,20	462,86	80
89,60	468,38	80
99,19	475,39	80
105,00	479,64	80
9,43	441,20	100
20,12	441,98	100
29,77	442,58	100
40,28	443,16	100
49,92	443,67	100
60,09	445,23	100
79,72	449,13	100
99,74	454,58	100
109,61	457,64	100
129,48	464,55	100
139,76	468,80	100
149,81	472,73	100
160,28	477,64	100
162,34	479,38	100

6.3 Fræðilegir útreikningar á rennslislykli

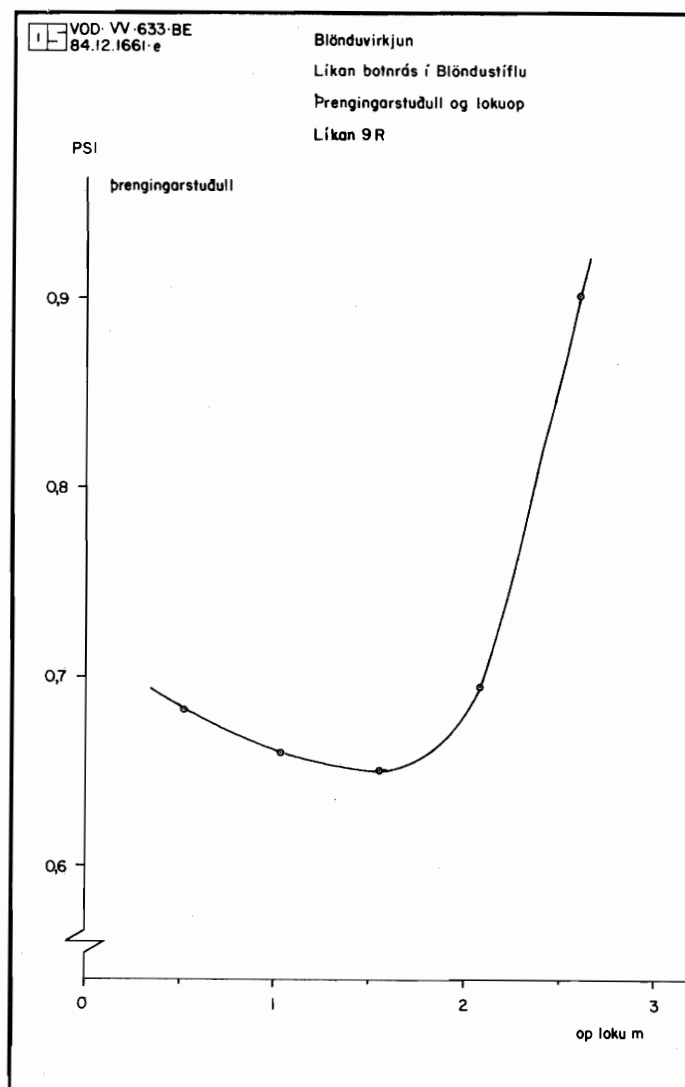
Mældur rennslislykill var borinn saman við reiknaðan lykil samkvæmt jöfnu 2. Hryfi plexiglers í líkani er sem fyrr áætlað:

$$k(\text{líkan}) = 0,01 \text{ mm}$$

Stuðlunum í jöfnu 2 er breytt þar til besta samræmi fæst milli mældra og reiknaðra stærða fyrir öll lokuop. Við reikningana var notað reikniforrit frá Verkfræðistofunni Vatnaskil. Besta lausn fékkst með:

$$\alpha_2 = 1,1$$
$$\zeta = 0,1$$

Í töflu 8 er gefið mælt og reiknað rennsli. Ágætt samræmi er milli mældra og reiknaðra stærða. Reiknaður rennslislykill er einnig sýndur á mynd 14. Eins og áður greinir frá, gæti líkanið vanmetið flutningsgetuna lítillega. Mynd 15 sýnir fræðilegan þrengingarstuðul sem fall af opnun varaloku.



Mynd 15. Þrengingarstuðull fyrir mismunandi geiralokuop

TAFLA 8. Mældur og reiknaður rennslislykill, fyrir botnrás í endanlegri gerð

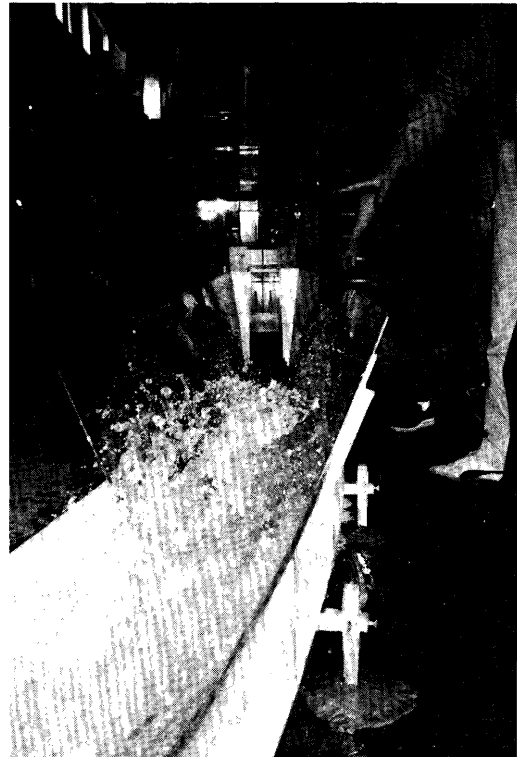
H lón- hæð	Op geira- loku	Rennsli Q mælt	Rennsli Q reiknað	Núnings- stuðull	Dýpi í þrengingu	Þreng- ingar- stuðull	Summa kvaðrat mismuna
m y.s	%	m ³ /s	m ³ /s	f	m	p	
454,58	100	99,74	99,87	0,017	2,342	0,901	
457,64	100	109,61	109,78	0,017	2,342	0,901	
464,55	100	129,48	129,44	0,016	2,342	0,901	0,362
468,80	100	139,76	140,19	0,016	2,342	0,901	
472,73	100	149,81	149,45	0,016	2,342	0,901	
477,64	100	160,28	160,27	0,015	2,342	0,901	
446,77	80	44,98	45,92	0,020	1,445	0,695	
452,44	80	59,93	60,20	0,019	1,445	0,695	
457,26	80	69,63	70,14	0,018	1,445	0,695	1,645
462,86	80	80,20	80,17	0,018	1,445	0,695	
468,38	80	89,60	88,96	0,017	1,445	0,695	
475,39	80	99,19	99,02	0,017	1,445	0,695	
447,65	60	34,82	35,03	0,021	1,014	0,650	
456,99	60	49,56	49,80	0,020	1,014	0,650	0,167
464,53	60	59,28	59,11	0,019	1,014	0,650	
475,06	60	70,25	70,07	0,018	1,014	0,650	
447,89	40	24,52	24,54	0,023	0,687	0,660	
452,75	40	30,20	30,06	0,022	0,687	0,660	0,023
463,29	40	39,45	39,47	0,021	0,687	0,660	
470,74	40	44,91	44,95	0,020	0,687	0,660	
477,62	40	49,49	49,47	0,020	0,687	0,660	
454,33	20	16,68	16,58	0,025	0,355	0,683	
461,81	20	20,16	19,99	0,024	0,355	0,683	0,080
476,20	20	25,09	25,29	0,023	0,355	0,683	

7. NIÐURSTÖÐUR

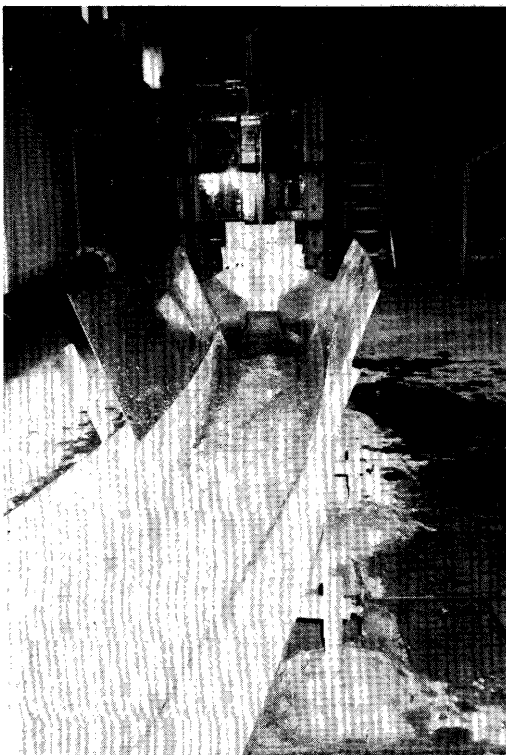
Straumlag neðan við geiraloku var bætt verulega í líkaninu. Eins voru gerðar breytingar til batnaðar við varaloku. Flutningsgeta reyndist lík því sem gert var ráð fyrir í hönnun.



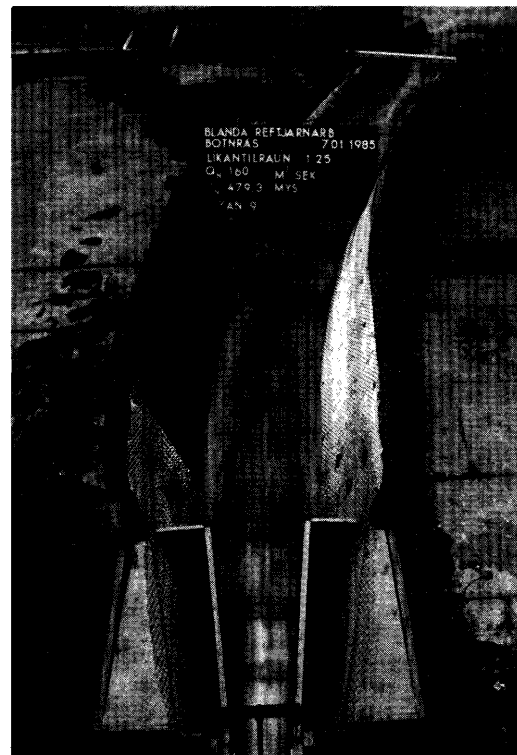
Ljósmynd 1. Yfirlitsmynd af lokalíkani



Ljósmynd 2. Líkan 3R, ólga í vatni, áður en lagfæringar voru gerðar. Rennsli um 300 m³/s



Ljósmynd 3. Líkan 3R eftir að lagfæringar voru gerðar. Rennsli um 300 m³/s



Ljósmynd 4. Líkan 9R, lokalíkan

VIÐAUKI: Skrá yfir líkön

Lýsing á líkönum

- 1R Upphaflegt líkan, sjá myndir 3 og 4, botnrásarstokkur 4 x 5 m. Geiraloka 3,2 x 4,7 m. Stuttur frárennslisskurður er í 439,5 m y.s.
- 2R Eins og líkan 1R nema uppsveigðum botni breytt í láréttan botn, sjá mynd 3 og 4.
- 3R Eins og líkan 1 og 2R nema að því leyti að nýr frárennslisskurður með stillanlegri hæð var gerður í svo til fullri lengd. Fláum í hliðarveggjum breytt, sjá ljósmyndir 2 og 3.
- 4R Botnrás þrengd úr 4 x 5 m í 4 x 4 m, geiraloka fjarlægð. Biti settur framan við varalokurauf, sjá myndir 3, 9 og 13.
- 5R Lítil biti settur framan á stærri bita sem komið hafði verið fyrir í líkan 4R. Þröskuldur í botni framan við varalokurauf lengdur. Hliðum framan við varalokurauf breytt, sjá myndir 3, 7 og 13.
- 6R Eins og líkan 5R. Útrennslisop botnrásar þrengt lítillega með fleyg sem festur var í þakið (þrenging 0,25 m), sjá mynd 3.
- 8R Neðri brún varaloku lagfærð til að líkjast betur hinni raunverulegu loku og loftrásir gerðar í lokuna til að tryggja óhindraðan aðgang lofts að vatnsyfirborði í lokuraufinni. Sjá mynd 3.
- 9R Geiraloka 2,6 x 2,6 sett á sinn stað sjá myndir 3, 9, og 13. Að öðru leyti eins og líkan 8R.