

6 hillu  
1

172

ORRUSTOFNEN  
MÁLAFARM  
643



Rafmagnseptirlit Ríkisins

Reykjanesveita

Reinistölu á spennum  
og innviðdælikum há-  
spennumveitna

1943

REYKJANESVEITA

Rannsókn á spennum og  
víragildleikum háspennuveitna.

*eftir*

*Ólaf Tryggvason*

Reykjavík, í október 1943



- i -

Efnisyfirlit:

1. hluti: <u>Keflavíkurveita.</u>	Bls.
I. Inngangur	1
II. Aflþörf	1
III. Spenna og víragildleiki háspennulínunnar	3
IV. Aðalspennistöðvar	13
V. Niðurstöður um háspennuveitu til Keflavíkur	16
2. hluti: <u>Grindavíkurveita:</u>	
I. Inngangur	23
II. Aflþörf	23
III. Háspennulínan. Spennur og víragildleikar	23
IV. Aðalspennistöðvar	27
V. Niðurstöður	29
3. hluti: <u>Sandgerðisveita.</u>	
I. Inngangur	31
II. Aflþörf	31
III. Háspennulína frá Keflavík til Sandgerðis	32
IV. Spennistöðvar	37
V. Niðurstöður	38
4. hluti: <u>Hafnaveita</u>	42
5. hluti: <u>Voga- Vatnsleysustrandarveita.</u>	46
<u>Yfirlit (Resumé)</u>	47

- ii -

Línurit:

Línurit 1: Hagkvæmstu mestu álög Keflavíkurlínu, miðað við mismunandi verð raforðunnar.

" 2: Verð spennistöðva af ýmsum stærðum, með 1, 2 eða 3 spennum í hverri stöð.



R E Y K J A N E S V E I T A

## 1. hluti:

KEFLAVÍKURVEITAI. INNGANGUR.

Í greinargerð þeirri, sem hér fer á eftir, er tekin til rannsóknar, hver muni vera hagkvæmest tilhögun háspennuveitu suður Reykjanesskaga til Keflavíkur.

Háspennuveitu þessa, frá Hafnarfirði til Keflavíkur, ber að skoða sem fyrsta hluta veitu, er greinist síðar til ýmissa annara staða á skaganum, eftir því sem þörf krefur og aðstæður kunna að leyfa. Með tilliti til þessa er rétt að áætla veituna þegar í upphafi þannig:

1. að veitan geti með sem minnstum viðbótarkostnaði mætt þeim aukningum, sem vænta má að verði síðar á rafmagnsnotkuninni, bæði í Keflavík og annars staðar á Reykjanesskaga, og
2. að byrjunarkostnaði veitunnar verði þó stillt í hóf, eftir því sem fært er, til þess að tryggja sem besta rekstursafkomu fyrst, meðan rafmagnsnotkunin er ennþá hlutfallslega lítil.

II. AFLÞÖRF.

Í Keflavík og Njarðvíkum voru um 1700 íbúar í árslok 1942. Verði raforkan síðar notuð til húsahtunar í Keflavík og Njarðvíkum, auk venjulegra heimilisnota og smá-iðnaðar, má gizka á um 1000 watta aflnotkun á hvern íbúa, eða um 1700 kW miðað við framannefndan mannfjölda. Auk þessara notkunarmöguleika kemur til athugunar, að í Keflavík og Njarðvíkum eru nú allmörg frystihús og annar iðnaður, sem þarfnast mjög

verulegrar raforku.

Rafmagnspörfina í heild, til heimilisnota og til iðnaðarins, er ekki unnt að áætla með neinni verulegri nákvæmni fram í tímann, þar sem forsendurnar fyrir slíkum áætlunum er jafnan að breytast, en með hliðsjón af núverandi aðstæðum og af framansögðu skal hér gizkað lauslega á, að í Keflavík og Njarðvíkum þurfi samtals

1. til heimilisnota, húsahtunar að mestu og til iðnaðar 2000 - 2500 kílówött, eða
2. til heimilisnota, lítilsháttar húsahtunar og til iðnaðar 1000 - 1500 kílówött.

Annars staðar á Reykjanesskaga munu hafa verið um 1900 manns í árslok 1942, eða samtals um 3600 manns á öllum skaganum.

Með svipuðum forsendum og hér á undan má þá gizka lauslega á rafmagnspörf á öllum skaganum:

1. til heimilisnota, húsahtunar að mestu og til iðnaðar 4000 - 5000 kílówött, eða
2. til heimilisnota, lítilsháttar húsahtunar og til iðnaðar 2000 - 3000 kílówött.

Þessar tölur, sem hér hafa verið nefndar, þer að sjálfsögðu ekki að skilja þannig, að rafmagnsnotkunin muni komast tiltölulega fljótt upp að ninum tilteknu mörkum og stöðvast síðan, neldur mun notkunin, eins og venja er til í nýjum veitum, vaxa frá lítilli byrjun og áframhaldandi eftir því sem aðstæður leyfa. Með tilliti til þessa verður því hér á eftir reiknað með nokkrum mismunandi álögum á háspennuveitu, og rannsakað hvaða spennur, víragildleikar og tilhögun að öðru leyti nenti best í hverju tilfelli. Þessi álög verða valin sem reikningsgrundvöllur: 2000, 4000 og 6000 kW.



III. SPENNA OG VÍRAGILDLEIKI HÁSPENNULÍNUNNAR.

Athugun á árlegum kostnaði háspennulínu.

Reikna má árlegan kostnað háspennulínunnar frá Hafnarfirði til Keflavíkur eftir formúlunni:

$$k = k_L + k_a \text{ kr./ári, } \dots\dots\dots (1.)$$

þar sem  $k_L$  er árlegur kostnaður vegna vaxta, fyrningar, viðhalds og gæzlu línunnar, en  $k_a$  er árlegur kostnaður vegna orkutapa í línunni.

Í þessa formúlu má setja:

$$k_L = 0,01 (P_1 \cdot M + p_2 \cdot a \cdot kV + p_3 \cdot b \cdot 3q) L^1 \dots\dots\dots (2.)$$

og  $k_a = \frac{0,0175 \cdot L}{q} \left(\frac{MVA}{kV}\right)^2 (N + 8760 \cdot \sigma \cdot n) 10^6 \dots\dots\dots (3.)$

Til þess að finna þann viragildleika er gefur minnstan árlegan heildarkostnað háspennulínunnar, þarf að finna "minimum" jöfnu (1.), þ.e. differensera  $k$  með tilliti til  $q$ . Falla þá burtu hinir "konstöntu" liðir  $p_1 \cdot M$  og  $p_2 \cdot a \cdot kV$ , og fæzt, þegar  $\frac{dk}{dq}$  er sett 0:

$$\frac{dk}{dq} = 0,01 p_3 \cdot b \cdot 3 \cdot L - \frac{0,0175 \cdot L}{q^2} \left(\frac{MVA}{kV}\right)^2 (N + 8760 \cdot n \cdot \sigma) \cdot 10^6 = 0$$

eða  $q = 764 \cdot \frac{MVA}{kV} \sqrt{\frac{N + 8760 \cdot \sigma \cdot n}{p_3 \cdot b}} \dots\dots\dots (4.)$

- 1)  $M$  er verð stólpa og þverarma (uppsettra) á hvern kílómeter,  $p_1$  er árlegur kostnaður þeirra í % af stofnkostnaði þessa hluta.  $a$  er verð einangrara á kílómeter og kílóvolt,  $kV$  er spenna línunnar,  $p_2$  er árlegur kostnaður einangraranna í %  $b$  er verð eirvírs og uppsetning hans, á hvern km. og  $mm^2$  þvermáls,  $q$  er þvermál vírsins í  $mm^2$  og  $p_3$  er árlegur kostnaður vírsins í %.  $L$  er lengd línunnar í km.; hér er reiknað með 37 km. línulengd.
- 2)  $MVA$  er álag línunnar í 1000 kVA.  $N$  er verð hvers ársíló-watts í kr. við upphaf línunnar (í Hafnarfirði).  $\sigma$  er stuðul er ákveðst af fasvikinu og nýtingartíma mesta álags. Hér verður reiknað með  $\cos \phi = 0,95$  og nýtingarstuðli  $\beta = 0,5$  (þ.e. 4380 klst./ári), en af því leiðir að  $\sigma = 0,31 \cdot n$  er verð hvernar kwst. í kr.



Með hliðsjón af þeim gögnum sem eru fyrir hendi, skal hér reiknað með leiðslukostnaði,<sup>1)</sup> er sé  $b=60 \text{ kr/km}\cdot\text{mm}^2$ .

Reiknað verður með því hér, að allur árlegur kostnaður vírsins verði 7% af stofnkostnaðinum, þ.e. að  $p_3 = 7$

Með hliðsjón af því verði, sem raforkan er nú seld í aðveitustöð Hafnarfjarðar, skal fyrst reiknað með því hér, að hvert árskilóvatt við upphaf línunnar í Hafnarfirði kosti 140 kr., þ.e.  $N = 140$ . Kílóvattstundin kostar þá 0,032 kr. miðað við 50% nýtingartíma mesta álags, þ.e.  $n = 0,032$ .

Ef framangreindar tölur eru settar inn í formúlu (4.), fæzt:

$$q = 764 \frac{\text{MVA}}{\text{kV}} \sqrt{\frac{140 + 8760 \cdot 0,31 \cdot 0,032}{7 \cdot 60}}$$

$$= 560 \cdot \frac{\text{MVA}}{\text{kV}} \text{ mm}^2 \dots\dots\dots (4. a)$$

Þetta samsvarar því, að straumurinn á hvern  $\text{mm}^2$  eirvírsins sé:

$$s = \frac{A \cdot 1000}{q \cdot 73 \cdot 560} = 1,03 \text{ amp/mm}^2$$

Sé formúla (4. a) leyst með tilliti til MVA, fæzt:

$$\text{MVA} = \frac{\text{kV} \cdot q}{560} ,$$

en af því leiðir, ef reiknað er með  $\cos \varphi = 0,95$ , að

$$\text{kW} = \text{kVA} \cdot \cos \varphi = 1000 \text{ MVA} \cdot \cos \varphi = \frac{1000 \cdot 0,95}{560} \text{ kV} \cdot q$$

eða  $\text{kW} = 1,7 \cdot \text{kV} \cdot q \dots\dots\dots (5.)$

Með þessari formúlu (5.) má reikna út hagkvæmasta álag, miðað við mismunandi spennur og víragildleika. Í formúlunni er, eins og áður er tekið fram, reiknað með verði raforkunnar  $N = 140 \text{ kr/árskw}$ . Með breyttu verðlagi raforkunnar breytist stuðullinn í formúlunni að sjálfsögðu.

Jafnframt þeim útreikningum sem hér hafa verið raktir,

1) þ.e. verði eirvírs og uppsetningu hans, sbr. skilgreiningu bls. 3

þarf að athuga spennufallið í línunni sérstaklega. Með til-  
liti til þess, að lengd línunnar er aðeins um 37 km, má  
reikna spennufallið með nægilegri nákvæmni þannig:

$$\Delta U\% = \frac{L \cdot kW \cdot Z}{10 \text{ kV}^2} = \underline{3,7 \frac{kW \cdot Z}{kV^2}}, \dots\dots\dots (6.)$$

þar sem  $Z = r \cos \varphi + x \sin \varphi$ .

Hér verður reiknað með  $\cos \varphi = 0,95$  og  $\sin \varphi = 0,312$ .  
Viðnámið,  $r$ , og "reaktansinn",  $x$ , á hvern kílómeter við  
mismunandi víragildleika (og með 1,5 m meðalfjarlægð milli  
víra), verða þá:

Fyrir	25 mm <sup>2</sup>	eirvír	$r = 0,696,$	$x = 0,403$
"	35 "	"	$r = 0,498,$	$x = 0,393$
"	50 "	"	$r = 0,348,$	$x = 0,381$
"	70 "	"	$r = 0,249,$	$x = 0,370$
"	95 "	"	$r = 0,184,$	$x = 0,360$
"	120 "	"	$r = 0,145,$	$x = 0,353$

Samkvæmt þessu fæzt:

Fyrir	25 mm <sup>2</sup>	eirvír	$Z = 0,787$
"	35 "	"	$Z = 0,596$
"	50 "	"	$Z = 0,450$
"	70 "	"	$Z = 0,351$
"	95 "	"	$Z = 0,287$
"	120 "	"	$Z = 0,248$

Nú skulu valdar nokkrar málspennur, 22, 33, 44 og 66 kV  
og víragildleikar frá 25 til 120 mm<sup>2</sup>, og síðan reiknað út  
hagkvæmasta álag (miðað við árlegan heildarkostnað línunnar)  
og tilsvareandi spennufall í hverju tilfalli, skv. formúlunum  
(5.) og (6.). Niðurstöður þessara útreikninga eru sýndar í  
eftirfarandi töflu.



Tafla 1.

Taflan sýnir hagkvæmustu álög á háspennulínunni til Keflavíkur við mismunandi spennur og víragildleika, miðað við rafmagnsverðið  $N = 140$  kr./árskw. og  $S = 1,03$  amp./mm<sup>2</sup>. Ennfremur eru reiknuð út tilsvaramandi spennuföll.

Eirvír q mm <sup>2</sup>	22 kV		33 kV		44 kV		66 kV	
	kw	ΔU%	kw	ΔU%	kw	ΔU%	kw	ΔU%
25	935	5,6	1400	3,7	1870	2,8	2800	1,9
35	1310	6,0	1965	4,0	2620	3,0	3930	2,0
50	1870	6,4	2800	4,3	3740	3,2	5600	2,1
70	2620	7,0	3930	4,7	5240	3,5	7860	2,3
95	3550	7,8	5330	5,2	7100	3,9	10660	2,6
120	4490	8,5	6730	5,7	8980	4,2	13460	2,8

Eins og vikið er að í byrjun greinargerðarinnar, má gera ráð fyrir, að rafmagnsnotkunin í hinni nýju veitu vaxi frá lítilli byrjun áframhaldandi um lengri tíma. Nú skulu tekin til athugunar þrjú hugsanleg stig þessarar þróunar:

- 1) 2000 kw mesta álag á háspennuveitunni
- 2) 4000 " " " " "
- 3) 6000 " " " " "

Sú gerð háspennulínunnar, sem valin verður með nliðsjón af þessum álögum, þarf í hverju tilfalli að fullnægja eftirfarandi skilyrðum:

1. að árlegur heildarkostnaður línunnar verði sem minnstur, og
2. að spennufallið í línunni verði eigi óhæfilega mikið.

Reiknað verður með því hér, að spennufall háspennulínunnar megi verða allt að 7%. Við athugun á töflu 1. sézt, að spennufallið við hagkvæmustu álögin er yfirleitt minna en 7%. Undantekningar frá þessu eru aðeins tvær, 22 kV, 3x95 mm<sup>2</sup> lína með



3550 kW álagi og 7,8% spennufalli, og 22 kV, 3x120 mm<sup>2</sup> lína, með 4490 kW álagi og 8,5% spennufalli.

Af töflu 1. má ráða, að eftirfarandi spennur og víragildleikar koma til greina við hin tilteknu álog, 2000, 4000 og 6000 kW.

1) Fyrir 2000 kw mesta álag.

22 kV rekstursspenna:	3x50 mm <sup>2</sup>	eða	3x70 mm <sup>2</sup>	eirvír
33 " " :	3x35 " "		3x50 " "	" "
44 " " :	3x25 " "		3x35 " "	" "
66 " " :			3x25 " "	" "

2) Fyrir 4000 kw mesta álag.

33 kV rekstursspenna:	3x70 mm <sup>2</sup>	eða	3x95 mm <sup>2</sup>	eirvír
44 " " :	3x50 " "		3x70 " "	" "
66 " " :	3x35 " "		3x50 " "	" "

3) Fyrir 6000 kw mesta álag.

33 kV rekstursspenna:	3x95 mm <sup>2</sup>	eða	3x120 mm <sup>2</sup>	eirvír
44 " " :	3x70 " "		3x95 " "	" "
66 " " :	3x50 " "		3x70 " "	" "

Af framangreindum niðurstöðum má þegar draga þá ályktun, að 22 kV háspennulína geti ekki talist til verulegrar frambúðar. En með tilliti til þess, að 22 kV spenna er til umráða við Hafnarfjörð, kemur til greina að byggja háspennulínuna með hærri spennu, en reka línuna fyrst um sinn, meðan álagið er hlutfallslega lítið, með 22 kV spennu. Þessi möguleiki verður atnugaður nánar síðar.

Til þess nú að fá endanlega skorið úr, hvaða gerðir háspennulínunnar beri að velja, miðað við þær forsendur sem hér hafa verið lagðar til grundvallar, er í eftirfarandi töflu 2. reiknaður út árlegur heildarkostnaður fyrir hverja þá gerð



línu, sem til greina kemur og valin nefur verið úr hér á undan.

Tafla 2.

Útreikningar árlegs heildarkostnaðar, k, fyrir ýmsar gerðir háspennulínu til Keflavíkur, skv. formúlum (1.), (2.) og (3.), miðað við  $\cos \varphi = 0,95$ ,  $\delta = 0,31$  og rafmagnsverð  $N = 140$  kr./árskw. og  $n = 0,032$  kr./kwst.

Mesta álag kW	Reksturs- spenna kV	Lína gerð fyrir kV <sub>1</sub>	Eirvír q mm <sup>2</sup>	Spennu- fall ΔU%	$0,01(p_1 \cdot M + p_2 \cdot a \cdot kV_1) \cdot L^2$ kr./ári	$0,01 \cdot p_3 \cdot b \cdot 3 \cdot q \cdot L$ = 466,2 · q kr./ári	$k_L = 0,01 \cdot L \cdot (p_1 \cdot M + p_2 \cdot a \cdot kV_1 + p_3 \cdot b \cdot 3 \cdot q) \cdot L$ kr./ári	$k_a = \frac{0,0175 \cdot L}{q} \cdot \left(\frac{MVA}{kV}\right)^2 \cdot (N + 8760 \cdot d \cdot n) \cdot 10^6$ kr./ári	k = k <sub>L</sub> + k <sub>a</sub> kr./ári	Nr.
2000	22	33 <sup>1)</sup>	50	6,8	106.190	23.310	129.500 <sup>1)</sup>	27.000	156.500 <sup>1)</sup>	5
"	"	"	70	5,3	"	32.630	138.820	19.250	158.070	6
"	33	"	35	4,1	"	16.315	122.505	17.150	139.655	1
"	"	"	50	3,1	"	23.310	129.500	12.000	141.500	2
"	44	44	25	3,0	124.690	11.655	136.345	13.500	149.845	3
"	"	"	35	2,3	"	16.315	141.005	9.630	150.635	4
"	66	66	25	1,4	161.690	11.655	173.345	6.000	179.345	7
4000 <sup>2)</sup>	33	33	70	4,8	106.190	32.630	138.820	34.300	173.120	1
"	"	"	95	3,9	"	44.290	150.480	25.150	175.630	3
"	44	44	50	3,4	124.690	23.310	148.000	27.000	175.000	2
"	"	"	70	2,7	"	32.630	157.320	19.250	176.570	4
"	66	66	35	2,0	161.690	16.315	178.005	17.150	195.155	5
"	"	"	50	1,5	"	23.310	185.000	12.000	197.000	6
6000	33	33	95	5,9	106.190	44.290	150.480	56.600	207.080	4
"	"	"	120	5,1	"	55.940	162.130	44.800	206.930	3
"	44	44	70	4,0	124.690	32.630	157.320	43.400	200.720	1
"	"	"	95	3,3	"	44.290	168.980	31.800	200.780	2
"	66	66	50	2,3	161.690	23.310	185.000	27.000	212.000	5
"	"	"	70	1,8	"	32.630	194.320	19.250	213.570	6

1) Sé línan hinsvegar gerð fyrir 22 kV spennu, verður k<sub>L</sub> = 111.000 og heildarkostnaðurinn k = 138.000 kr./ári

2) Hér er hugsanlegur möguleiki að hafa tvær 22 kV línur í stað einnar línu með hærri spennu. Miðað við að hvor lína væri með 22 kV spennu og 3x50 mm<sup>2</sup> eirvír, yrði árlegur heildarkostnaður þessara lína k = 2x138.000 = 276.000 kr./ári, eða töluvert hærri en fyrir t.d. eina 33 kV línu með svipaðri flutningsgetu.



Framangreindar niðurstöður eru miðaðar við það, að verð hvers árskilówatts sé 140 kr., við línu-upphaf við Hafnarfjörð.

Nú skal athugað, hvaða áhrif hækkað verð rafmagnsins myndi hafa á hinar fengnu niðurstöður.

Ef gert er ráð fyrir rafmagnsverði, er sé N=160 kr./árskw. og n=0,0365 kr./kwst, og þessar tölur settar inn í formúlu (4. a) í stað N=140 og n=0,032, fæzt:

$$q = 599 \frac{\text{MVA}}{\text{kV}} \text{ mm}^2 ;$$

ennfremur, þar sem  $\text{MVA} = \frac{\text{kV} \cdot q}{599}$  :

$$\text{kW} = \text{kVA} \cdot \cos \phi = 1000 \text{ MVA} \cdot \cos \phi = \frac{1000 \cdot 0,95}{599} \text{ kV} \cdot q = 1,59 \text{ kV} \cdot q$$

Samkvæmt þessu má reikna út hagkvæmstu álög og tilsvareandi spennuföll eins og áður, þannig:

Tafla 3.

Taflan sýnir hagkvæmstu álög á háspennulínunni til Keflavíkur við mismunandi spennur og víragildleika, miðað við rafmagnsverðið N=160 kr./árskw. Ennfremur eru reiknuð út tilsvareandi spennuföll.

Eirvír q mm <sup>2</sup>	22 kV		33 kV		44 kV		66 kV	
	kW	ΔU%	kW	ΔU%	kW	ΔU%	kW	ΔU%
25	875	5,2	1310	3,5	1750	2,6	2620	1,8
35	1225	5,6	1840	3,7	2450	2,8	3680	1,9
50	1750	6,0	2620	4,0	3500	3,0	5240	2,0
70	2450	6,5	3680	4,4	4900	3,3	7360	2,2
95	3330	7,3	4990	4,9	6650	3,7	9970	2,4
120	4200	8,0	6300	5,3	8400	3,9	12600	2,6

Af töflu 3. má sjá, að hagkvæmstu álög eru hér, með rafmagnsverði N=160 kr./árskw., nokkru lægri fyrir tilsvareandi spennur og víragildleika en skv. töflu 1., þar sem reiknað er með N=140 kr./árskw.



Tafla 3. sýnir þó, þrátt fyrir nokkru hærri rafmagnsverð, að hinar sömu spennur og víragildleikar og áður koma hér til athugunar.

Samkvæmt þessu er í eftirfarandi töflu 4. reiknaður út árlegur heildarkostnaður fyrir hinar sömu línur og taldar eru í töflu 2., en reiknað hér með  $N=160$  kr./árskw., í stað  $N=140$ .

Tafla 4.

Útreikningar árlegs heildarkostnaðar, k, fyrir ýmsar gerðir háspennulínu til Keflavíkur, sbr. formúlur (1.), (2.) og (3.) og töflu 2., miðað við  $\cos \varphi = 0,95$ ,  $\sigma = 0,31$  og rafmagnsverð  $N=160$  kr./árskw. og  $n=0,0365$  kr./kwst.

Mesta alag kW	Rekst- urs- spenna kV	Lína- gerð fyrir kV <sub>1</sub>	Þir- vir q <sub>2</sub> mm <sup>2</sup>	Spennu- fall U%	k <sub>L</sub> (sbr.töflu 2)	k <sub>a</sub> (sbr.töflu 2) N=160	k= k <sub>L</sub> +k <sub>a</sub> kr./ári	Nr	Nr. skv. töflu 2
2000	22	33	50	6,8	129.500	30.900	160.400	5	(5)
"	"	"	70	5,3	138.820	22.000	160.820	6	(6)
"	"	"	35	4,1	122.505	19.600	142.105	1	(1)
"	"	"	50	3,1	129.500	13.700	143.200	2	(2)
"	44	44	25	3,0	136.345	15.400	151.745	3	(3)
"	"	"	35	2,3	141.005	11.000	152.005	4	(4)
"	66	66	25	1,4	173.345	6.855	180.200	7	(7)
4000	33	33	70	4,8	138.820	39.200	178.020	1	(1)
"	"	"	95	3,9	150.480	28.750	179.230	3	(3)
"	44	44	50	3,4	148.000	30.900	178.900	2	(2)
"	"	"	70	2,7	157.320	22.000	179.320	4	(4)
"	66	66	35	2,0	178.005	19.600	197.605	5	(5)
"	"	"	50	1,5	185.000	13.700	198.700	6	(6)
6000	33	33	95	5,9	150.480	64.600	215.080	4	(4)
"	"	"	120	5,1	162.130	51.300	213.430	3	(3)
"	44	44	70	4,0	157.320	49.600	206.920	2	(1)
"	"	"	95	3,3	168.980	36.300	205.280	1	(2)
"	66	66	50	2,3	185.000	30.900	215.900	5	(5)
"	"	"	70	1,8	194.320	22.000	216.320	6	(6)



Samkvæmt töflunum 1. og 3. hér á undan komu að jafnaði tveir víragildleikar til greina fyrir hverja af spennunum 22, 33, 44 og 66 kV, miðað við álögin 2000, 4000 og 6000 kW. Með töflunum 2. og 4. er nú fenginn samanburður árlegs heildarkostnaðar háspennulínunnar fyrir þessa tvo mismunandi víragildleika hverrar spennu.

Af töflunum 2. og 4. má m.a. draga þessar ályktanir:

1. Heildarkostnaður háspennulínunnar á ári hverju, miðað við tiltekna rekstursspennu og tiltekið mesta álag, er yfirleitt mjög svipaður fyrir þá tvo víragildleika línunnar sem til greina koma í hverju tilfalli.

Heildarkostnaðurinn er að jafnaði lítið eitt lægri með hinum grennri vírnum fyrir hverja spennu. Undantekning er aðeins með 33 kV spennu við 6000 kW, álag, en þar telst  $3 \times 95 \text{ mm}^2$  línan lítið eitt dýrari á ári en  $3 \times 120 \text{ mm}^2$  lína. Mismunurinn reiknast 150 kr./ári með rafmagnsverði  $N=140$  kr./árskw. (sbr. töflu 2.) og 1550 kr./ári með  $N=160$  kr./árskw. (sbr. töflu 4.); mismunurinn er þannig mjög lítill og kemur alls ekki til greina fyrir en álagið er komið allt að 6000 kW.

2. Spennufallið í línunni er alls staðar minna en 7%, og er því hvergi of mikið, skv. því sem áður er tiltekið (sbr. bls. 6)
3. Rafmagnsverðið hefur þau áhrif á árlegan heildarkostnað línunnar, að hækkandi rafmagnsverð veldur, að öðrum forsendum óbreyttum, lækkandi því álagi, sem hagkvæmast er.

Þetta atriði er sýnt nánar á meðfylgjandi línuriti 1.

Niðurstöðurnar af því sem hér hefur verið sagt og af þeim útreikningum sem gerðir hafa verið í þessum kafla, eru þá, að velja skuli úr töflunum 2. og 4. eftirfarandi víragildleika við



tilteknar spennur og tiltekin álög háspennulínunnar:

1) Fyrir 2000 kW mesta álag.

22 kV rekstursspenna:	3x50 mm <sup>2</sup>	eirvír
33 " " :	3x35 " "	" "
44 " " :	3x25 " "	" "
66 " " :	3x25 " "	" "

2) Fyrir 4000 kW mesta álag.

33 kV rekstursspenna:	3x70 mm <sup>2</sup>	eirvír
44 " " :	3x50 " "	" "
66 " " :	3x35 " "	" "

3) Fyrir 6000 kW mesta álag.

33 kV rekstursspenna:	3x95 mm <sup>2</sup>	eirvír
44 " " :	3x70 " "	" "
66 " " :	3x50 " "	" "

Eins og sjá má af þessum niðurstöðum, eru enn nokkrir möguleikar eftir um gerð háspennulínunnar, er til greina koma við hvert hinna tilgreindu álaga línunnar. Til þess að skera úr um hagkvæmustu gerð háspennuveitunnar í heild, þarf hins vegar að sjálfsögðu jafnframt að athuga kostnað nauðsynlegra aðalspennustöðva við enda háspennulínunnar. Fyrr verður ekki valið endanlega milli framangreindra möguleika um gerð línunnar.

Í næsta kafla verður því kostnaður aðalspennistöðvanna tekin til athugunar á tilsvarandi hátt og hér hefur verið gert um háspennulínuna.



IV. AÐALSPENNISTÖÐVAR.

Í fyrri kafla eru niðurstöðurnar um gerð háspennulínunnar fengnar með þeim forsendum, að árlegur heildarkostnaður línunnar verði sem minnstur í hverju tilfalli, jafnframt því að spennufallið verði eigi óhæfilega mikið. Línukostnaðinum,  $k$ , er skift þar í tvo liði,  $k_L$  vegna vaxta, fyrningar og viðhalds línunnar, og  $k_a$  vegna orkutapa í línunni.

Nú verður árlegum kostnaði aðalspennistöðvanna - en hann er kallaður hér  $k_s$  - skift á sama hátt í tvo liði,  $k_{s1}$  vegna árlegra vaxta, fyrningar og viðhalds spennistöðvanna, og  $k_{s2}$  vegna árlegra orkutapa í spennum. Samkvæmt þessu má skrifa:

$$k_s = k_{s1} + k_{s2} \quad \text{kr./ári} \dots\dots\dots (7.)$$

Í þessa formúlu má setja:

$$k_{s1} = 0,01 \cdot p_s \cdot S \quad \text{kr./ári}^1) \dots\dots\dots (8.)$$

og  $k_{s2} = 87,6 \cdot \frac{kW}{\cos} \cdot (\epsilon_{fe} + \sigma \cdot \epsilon_{cu}) \cdot n \quad \text{kr./ári}^2) \dots\dots\dots (9.)$

Vegna óvissu um allt verðlag, er ekki unnt að áætla stofnkostnað spennistöðva með neinni verulegri nákvæmni hér. Í eftirfarandi útreikningum verður miðað við ágizkun þá um verð spennistöðva, sem sýnd er á meðfylgjandi linuriti 2.

Við útreikning á kostnaði orkutapanna verður annars vegar miðað við rafmagnsverðið  $N=140$  kr./árskw. og  $n=0,032$  kr./kwst., og hins vegar við  $N=160$  kr./árskw. og  $n=0,0365$  kr./kwst., eins og áður.

- 1) S er stofnkostnaður spennistöðvar, en  $p_s$  er árlegur kostnaður vegna vaxta, fyrningar og viðhalds, talinn í % af stofnkostnaði. Hér er reiknað með  $p_s=10$ .
- 2) kW er mesta álag spennistöðvar, en það er hér talið sama og fullt álag hennar.  $\epsilon_{fe}$  er járntöpin í % af fullu álagi spennis.  $\epsilon_{cu}$  samsvarar eirtöpunum, reiknuðum í % við mest álag spennis. Stúðullinn  $\sigma$ , sem ákveðst af fasvikinu og nýtingartíma mesta álags, reiknast hér 0,31, og  $\cos$  er talin 0,95, eins og áður er gert.



Járn- og eirtöpin má ákveða með samilegri nákvæmni samkvæmt eftirfarandi töflu.

Tafla 5.

Stærð spennis MVA	Hærri spennan: 6,6 eða 11 kV		Hærri spennan: 22 eða 33 kV		Hærri spennan: 44 eða 66 kV	
	$\xi_{fe}$ %	$\xi_{cu}$ %	$\xi_{fe}$ %	$\xi_{cu}$ %	$\xi_{fe}$ %	$\xi_{cu}$ %
0,5	0,30	1,42				
1,0	0,26	1,27	0,22	1,27		
1,5	0,21	1,00	0,22	1,00	0,25	1,3
2,0			0,21	0,90	0,22	1,1
3,0			0,16	0,75	0,19	0,9
6,0					0,17	0,7
10,0					0,15	0,6

Með þeim forsendum, sem greint hefur verið frá hér að framan, má nú reikna út árlegan heildarkostnað þeirra gerða aðalspennistöðvanna, er til greina koma, eins og sýnt er í eftirfarandi töflu 6.



Tafla 6.

Útreikningur árlegs heildarkostnaðar aðalspennistöðva,  $k_{s1}$ , samkvæmt formúlum (7.), (8.) og (9.), miðað við  $p_s = 10\%$ ,  $\cos \varphi = 0,95$ ,  $\sigma = 0,31$  og rafmagnsverð  $N=140$  kr./árskw. og  $n=0,032$  kr./kwst.

Mesta álag kW	Hæzta spenna kV	Stofn- kostnaður skw.línu- riti 2 S kr.	$k_{s1} =$ $0,01 \cdot p_s \cdot S$ $= 0,1 \cdot S$ kr./ári	$\epsilon_{fe}$ %	$\epsilon_{cu}$ %	$k_{s2} =$ $87,6 \frac{kw}{\cos \varphi}$ $(\epsilon_{fe} + \epsilon_{cu}) \cdot n$ kr./ári	$k_s =$ $k_{s1} + k_{s2}$ kr./ári
2000	22 <sup>1)</sup>	420.000	42.000	0,21	0,9	2.880	44.880
"	33	"	"	"	"	"	44.880
"	44	470.000	47.000	0,22	1,1	3.315	50.315
"	66	530.000	53.000	"	"	"	56.315
4000 <sup>2)</sup>	33	630.000	63.000	0,21	0,9	5.770	68.770
"	44	710.000	71.000	0,22	1,1	6.630	77.630
"	66	800.000	80.000	"	"	"	86.630
6000 <sup>3)</sup>	33	830.000	83.000	0,21	0,9	8.650	91.650
"	44	940.000	94.000	0,22	1,1	9.960	103.960
"	66	1050.000	105.000	"	"	"	114.960

Af töflu 6. má sjá, að rafmagnsverðið hefur tiltölulega lítil áhrif á árlegan kostnað spennistöðvanna. Ef rafmagnsverðið hækkar t.d. úr 140 kr./árskw. upp í 160 kr./árskw., verður heildarkostnaðurinn eins og segir í töflu 7.

- 1) Spennirinn gerður fyrir 33 kV, með úttaki fyrir 22 kV
- 2) Miðað við 2 stk. 2000 kVA spenna
- 3) " " 3 " " " "



Tafla 7.

Útreikningar árlegs heildarkostnaðar aðalspennistöðva,  $k_s$ , sbr. formúlur (7.), (8.) og (9.) og töflu 6., miðað við  $p_2 = 10$ ,  $\cos \varphi = 0,95$ ,  $\delta = 0,31$ , og rafmagnsverð  $N=160$  kr./árskw. og  $n=0,0365$  kr./kwst.

Mesta álag kW	Hæzta spenna kV	$k_{s1}$ (sbr. töflu 6) kr./ári	$k_{s2}$ miðað við $n=0,0365$ kr./ári	$k_s =$ $k_{s1} + k_{s2}$ kr./ári	$k_s$ skv. töflu 6 kr./ári	Hækkun kr./ári
2000	22 <sup>1)</sup>	42.000	3.290	45.290	44.880	410
"	33	"	"	45.290	44.880	410
"	44	47.000	3.780	50.780	50.315	365
"	66	53.000	"	56.780	56.315	365
4000	33	63.000	6.600	69.600	68.770	830
"	44	71.000	7.570	78.570	77.630	940
"	66	80.000	"	87.570	86.630	940
6000	33	83.000	9.880	92.880	91.650	1.230
"	44	94.000	11.400	105.400	103.960	1.440
"	66	105.000	"	116.400	114.960	1.440

Að fengnum þessum útreikningum á árlegum heildarkostnaði aðalspennistöðvanna, verður að lokum, í næsta kafla, reiknaður út árlegur kostnaður allrar háspennuveitunnar.

NIÐURSTÖÐUR UM HÁSPENNUVEITU TIL KEFLAVÍKUR (HÁSPENNULÍNU OG AÐALSPENNISTÖÐVAR).

Yfirlit um árlegan heildarkostnað háspennulínu og aðalspennistöðva, samkvæmt töflunum 2. og 6. hér á undan, er sett í eftirfarandi töflu 8.



Tafla 8.

Útreikningar á árlegum heildarkostnaði háspennuveitu til Keflavíkur, h, samkvæmt niðurstöðum um kostnað háspennulínu í töflu 2. og kostnað aðalspennistöðva í töflu 6., miðað við rafmagnsverð  $N=140$  kr./árskw., og  $n=0,032$  kr./kwst.

Mesta álag háspennulínu og spenna kW	Háspennulína						Aðalspennistöðvar			Heildarkostnaður háspennuveitu $h = k + k_s$ kr./ári	Nr.
	Reksturs-spenna kV	Lína gerð fyrir kV <sub>1</sub>	Eirvir q mm <sup>2</sup>	Spennufall $\Delta U$ %	Heildarkostnaður línu k kr./ári	Tala	Hæzta spennan kV	Kostnaður einnar spennistöðvar k <sub>s</sub> kr./ári	Kostnaður samtals k <sub>s</sub> kr./ári		
2000	22	33	50	6,8	156.500	1 <sup>1)</sup>	33	44.880	64.880	221.380	1
"	33	"	35	4,1	139.655	2	"	"	89.760	229.415	2
"	44	44	25	3,0	149.845	"	44	50.315	100.630	250.475	3
"	66	66	25	1,4	179.345	"	66	56.315	112.630	291.975	4
4000	33	33	70	4,8	173.120	2	33	68.770	137.540	310.660	1
"	44	44	50	3,4	175.000	"	44	77.630	155.260	330.260	2
"	66	66	35	2,0	195.155	"	66	86.630	173.260	368.415	3
6000	33	33	95	5,9	207.080	2	33	91.650	183.300	390.380	1
"	44	44	70	4,0	200.720	"	44	103.960	207.920	408.640	2
"	66	66	50	2,3	213.570	"	66	114.960	229.920	443.490	3

Sé hins vegar reiknað með rafmagnsverðinu  $N=160$  kr./árskw., verða niðurstöðurnar eins og sýnt er í töflu 9.

1) Við 22 kV spennu á háspennulínunni þarf aðeins aðalspennistöð í öðrum enda línunnar, við Keflavík, þar eð 22 kV spenna er fyrir hendi við Hafnarfjörð. Við kostnað einnar spennistöðvar er bætt hér ágizkuðum kostnaði greinistöðvar vegna línunnar, við Hafnarfjörð.



Tafla 9.

Útreikningar á árlegum heildarkostnaði háspennuveitu til Keflavíkur, h, samkvæmt niðurstöðum um kostnað háspennulínunnar í töflu 4, og kostnað aðalspennistöðvanna í töflu 7., miðað við rafmagnsverð  $N=160$  kr./árskw. og  $n=0,0365$  kr./kwst.

Mesta álag háspennulínu og spenna kW	Háspennulína				Aðalspennistöðvar		Heildarkostnaður $h = k + k_s$ kr./ári	Nr.	Nr. skv. töflu 8.	
	Reksturs-spenna kV	Lína gerð fyrir kV <sub>1</sub>	Eirvír q mm <sup>2</sup>	k kr./ári	Tala	Helzta spenna kV				k <sub>s</sub> kr./ári
2000	22	33	50	160.400	1 <sup>1)</sup>	33	65.290	225.690	1	(1)
"	33	"	35	142.105	2	"	90.580	232.685	2	(2)
"	44	44	25	151.745	"	44	101.560	253.305	3	(3)
"	66	66	25	180.200	"	66	113.560	293.760	4	(4)
4000	33	33	70	178.020	2	33	139.200	317.220	1	(1)
"	44	44	50	178.900	"	44	157.140	336.040	2	(2)
"	66	66	35	197.605	"	66	175.140	372.745	3	(3)
6000	33	33	95	215.080	2	33	185.760	400.840	1	(1)
"	44	44	70	206.920	"	44	210.800	417.720	2	(2)
"	66	66	50	215.900	"	66	232.800	448.700	3	(3)

Af töflunum 8. og 9. má m.a. draga eftirfarandi ályktanir:

1. Í útreikningunum hér á undan hefur verið miðað við það, að álag háspennulínunnar kynni að verða allt að 6000 kW í fyrirsjáanlegri framtíð.

Sé nú reiknað með 6000 kW mesta álagi, verður niðurstaðan sú, samkvæmt töflum 8. og 9., að endanleg gerð háspennuveitunnar sé hagkvæmust með 33 kV háspennulínu og 3x95 mm<sup>2</sup> gildum eirvír.

1) Meðtalinn kostnaður greinistöðvar, sbr. töflu 8.



2. Það styður framangreint val á spennu háspennulínunnar, að skv. töflunum 8. og 9. eru 33 kV einnig hagkvæmust miðað við 4000 kW mesta álag. Skv. töflunum telst í þessu tilfalli hagkvæmast að nota  $3 \times 70 \text{ mm}^2$  eirvír. Enda þótt notaður væri einnig hér, við 4000 kW álag,  $3 \times 95 \text{ mm}^2$  eirvír, myndi árlegur kostnaður línunnar samt verða verulega lægri en með öðrum rekstursspennum.<sup>1)</sup>
3. Við 2000 kW álag er, skv. töflunum 8. og 9. reksturskostnaður háspennuveitunnar lægstur með 22 kV rekstursspennum. Þetta stafar af því, að hér þarf, eins og áður er getið, aðeins spennistöð í öðrum enda línunnar, en hins vegar spennistöðvar í háðum endum línunnar með öðrum spennum.

Skv. töflu 8. er kostnaður veitu með 22 kV rekstursspennum (en 33 kV línu) og  $3 \times 50 \text{ mm}^2$  eirvír 221.380 kr./ári.

Til samanburðar má sjá af töflunni, að með 33 kV spennu og  $3 \times 35 \text{ mm}^2$  eirvír í línunni verður kostnaður veitunnar 229.415 kr./ári, eða aðeins um 3,6% hærrí en 22 kV línunnar.

Með tilliti til þess, að mismunurinn á reksturskostnaði þessara tveggja tilhaganna er tiltölulega lítill, en hinsvegar er flutningsgetan, miðað við 7% spennufall, um 65% meiri með 33 kV,  $3 \times 35 \text{ mm}^2$  línu en með 22, <sup>kV</sup>  $3 \times 50 \text{ mm}^2$  línu, kann að virðast heppilegra að byggja fyrst 33 kV línu, með  $3 \times 35 \text{ mm}^2$  eirvír, en síðar að skifta um víra, er þörf krefur, og setja  $3 \times 95 \text{ mm}^2$  eirvír í staðinn.

Til samanburðar við það sem hér hefur verið sagt um hagkvæmstu gerð háspennuveitunnar, skal að endingu, til frekara öryggis, athugað lauslega nokkuð önnur leið til ákvörðunar á gerð veitunnar.

1) Skv. töflu 2. er  $3 \times 95 \text{ mm}^2$  lína aðeins um 2500 kr./ári dýrari í rekstri en  $3 \times 70 \text{ mm}^2$  lína, miðað við 33 kV og 4000 kW.



Við útreikninga á hagkvæmustu víragildleikum línunnar hefur hér að framan verið lögð til grundvallar formúla (4.), bls. 3, en hún er þannig:

$$q = 764 \cdot \frac{MVA}{kV} \cdot \sqrt{\frac{N + 8760 \cdot \sigma \cdot n}{P_3 \cdot b}}$$

Ef jafnframt er athugað formúla (3.), má sjá, að liðurinn (N) í formúlu (4.) er settur vegna þeirrar hækkunar á mesta álagi í Hafnarfirði, er spennufallið í línunni veldur. Hins vegar er með liðnum (8760 · σ · n) tekið tillit til þeirrar raforku (kwst.) er tapast í línunni vegna spennufallsins. Verði nú sú leið farin, þegar gjaldskrá veitunnar verður ákveðin, að miða raforkukostnaðinn eingöngu við mesta álag veitunnar á árinu, en að meta að öðru leyti ekki til peninga þar kílóvattstundir er tapast í línunni vegna spennufallsins, kann að þykja réttara að sleppa liðnum (8760 · σ · n) í formúlu (4.). Sé liðnum (8760 · σ · n) sleppt er ekki tekið sérstakt tillit til þess, að spennufallið veldur meira eða minna auknu álagi veitunnar allan ársins hring, en af því leiðir, að víst er, að spennufallið stuðlar einnig að auknu mesta álagi ársins í orkuveri. Um venjuleg toppálög á veitunni væri hins vegar óvíst, að þau féllu saman við mesta álag ársins í orkuveri.

Með því að sleppa liðnum (8760 · σ · n) er enn fremur gengið út frá því, að raforkan sé að mestu eða öllu leyti fengið frá vatnsaflsstöð án miðlunar, þar sem mesta álag ársins skiftir langmestu mali um reksturskostnaðinn og þar með um rafmagnsverðið. Orkuverið við Sog er slík stöð án miðlunar, hins vegar er miðlun notuð í orkuverinu við Elliðaár. Komi síðar fleiri orkuver með miðlun í samband við Sogsveitukerfið (t.d. frá Andakílsá eða Hvalvatni við Hvalfjörð), verður að meta til peninga hverja þá kílóvattstund sem kann að tapast í háspennulínunum, eða annarsstaðar



í veitukerfum, án tillits til þess, hvort töpin stuðla að auknu mesta álagi í þessum orkuverum eða ekki.

Nú skal athugað lauslega, hvort það breyti fyrri niðurstöðum, ef liðnum  $(8760 \cdot d \cdot n)$  er sleppt í formúlu (4.), en öðrum forsendum haldið óbreyttum.

Í stað formúlu (4. a), bls. 4, fæzt nú:

$$q = 441 \frac{\text{MVA}}{\text{kV}} \text{ mm}^2,$$

en af því leiðir, að formúla (5.), bls. 4, breytist þannig:

$$\text{kW} = 2,15 \cdot \text{kV} \cdot q$$

Með sömu spennum og álögum og áður, verða nú niðurstöðurnar um hagkvæmustu víragildleika þessar:

1) Með 2000 kW álagi.

a) 22 kV

$$q = \frac{\text{kW}}{2,15 \cdot \text{kV}} = 42,3 \text{ mm}^2$$

Skv. fyrri útreikningum valið:  $q = 50 \text{ mm}^2$

b) 33 kV

$$q = \frac{\text{kW}}{2,15 \cdot \text{kV}} = 28,2 \text{ mm}^2$$

Skv. fyrri útreikningum valið:  $q = 35 \text{ mm}^2$

2) Með 4000 kW álagi, 33 kV.

$$q = \frac{\text{kW}}{2,15 \cdot \text{kV}} = 56,4 \text{ mm}^2$$

Skv. fyrri útreikningum valið:  $q = 70 \text{ mm}^2$

3) Með 6000 kW álagi, 33 kV.

$$q = \frac{\text{kW}}{2,15 \cdot \text{kV}} = 84,6 \text{ mm}^2$$

Skv. fyrri útreikningum valið:  $q = 95 \text{ mm}^2$

Niðurstöður þessara samanburðar- athuganna « gefa ekki til-  
efni til að breyta fyrri vali á endanlegri gerð háspennulínunnar.



Að þessu athuguðu virðist því mega velja:

33 kV háspennulínu með  $3 \times 95 \text{ mm}^2$  eirvír.

Fyrst um sinn sé hafður  $3 \times 35 \text{ mm}^2$  eirvír í línunni, eða, ef miðað er við amerísk mál, sá viragildleiki sem næstur er, en það er  $2 \text{ AWG} = 33,6 \text{ mm}^2$

Að lokum skal gefið yfirlit um flutningsgetu háspennulínunnar með allt að 7% spennufalli:

1) Með 33 kV rekstursspennu og  $3 \times 33,6 \text{ mm}^2$  eirvír.

getur línan flutt 3300 kW við 7% spennufall.

Sé hins vegar notuð 22 kV rekstursspenna fyrst um sinn, flytur línan tæplega 1500 kW, miðað við sama viragildleika og spennufall.

2) Með 33 kV rekstursspennu og  $3 \times 95 \text{ mm}^2$  eirvír.

getur línan flutt 7200 kW við 7% spennufall



## 2. hluti:

GRINDAVÍKURVEITAI. INNGANGUR.

Í eftirfarandi greinargerð um Grindavíkurveitu, er hagkvæmasta tilhögun veitunnar reiknuð út eftir svipuðum leiðum og gert er um Keflavíkurveitu hér á undan. Forsendurnar eru í aðalatriðum hinar sömu í báðum tilfellum. Reiknað er með 33 kV spennu til frambúðar á háspennulínunni til Keflavíkur, samkvæmt niðurstöðunum um Keflavíkurveitu.

II. AFLÞÖRF.

Íbúatala Grindavíkur mun vera um 600, eða um 1/6 hluti af mannfjölda alls Reykjaneskaga. Í áætluninni um Keflavíkurveitu hér á undan var reiknað með allt að 6000 kW fyrir allan skagann. Reiknað verður með svipuðum hlutföllum um notkunina í Grindavík, og gízkað á, að álag veitunnar kunni að komast upp í um 900 kW í fyrirsjáanlegri framtíð.

Samkvæmt þessu skulu eftirfarandi stig í aukningu rafmagnsnotkunarinnar lögð til grundvallar hér: 300, 600 og 900 kW.

I. HÁSPENNULÍNAN. SPENNUR OG VÍRAGILDLEIKAR.

Eins og sjá má af formúlum (4.) og (5.), bls. 3. og 4., er hagkvæmasta álag háspennulínu óháð lengd hennar. Samkvæmt formúlu (5.) er þá.

$$kW = 1,7 \cdot kV \cdot q$$

Í Grindavíkurveitu koma aðeins til athugunar lægri spennur eða spenna jafn há og á Keflavíkurlínu. Eftirfarandi spennur kunna því að koma til greina:



6,6, 11, 22 og 33 kV.

Lengd háspennulínunnar, frá Keflavíkurlínu (í nánd við Voga) til Grindavíkur, telst hér vera 18 km. Spennufallið má þá reikna út skv. formúlu (6.), bls. 5, ef sett er 1,8 í stað 3,7 (samsvarandi 37 km.) í formúluna, þannig:

$$\Delta U\% = 1,8 \frac{\text{kW} \cdot Z}{\text{kV}^2} \dots\dots\dots (10.)$$

Ef reiknað er með allt að 900 kW álagi, þarf háspennulínan síðar meir að geta flutt það afl, án of mikils spennufalls. Hér skal reiknað með, að hæfilegt sé að leyfa allt að 4% spennufall. Miðað við 900 kW álag, má skrifa formúlu (10.) þannig:

$$\Delta U\% = 1,8 \cdot 900 \cdot \frac{Z}{\text{kV}^2} = 1620 \cdot \frac{Z}{\text{kV}^2}$$

1) Við 6,6 kV fæzt:

$$\Delta U\% = 37,2 \cdot Z$$

Fyrir 95 mm<sup>2</sup> eirvír: Z=0,287 (sbr. bls. 5),  $\Delta U\%=10,7\%$

" 120 " " : Z=0,248 ( " " " ),  $\Delta U\%=9,2\%$

Af þessu má ráða, að 6,6 kV spenna getur ekki talist til frambúðar á Grindavíkurlínu, vegna of mikils spennufalls. Ef leyft er 4% spennufall, gæti 6,6 kV 3x95 mm<sup>2</sup> lína aðeins flutt um 340 kW. Að þessu athuguðu verður ekki reiknað með 6,6 kV hér á eftir.

2) Við 11 kV fæzt:

$$\Delta U\% = 13,4 \cdot Z$$

Fyrir 70 mm<sup>2</sup> eirvír: Z=0,351 (sbr. bls. 5),  $\Delta U\%=4,7\%$

" 95 " " : Z=0,287 ( " " " ),  $\Delta U\%=3,8\%$

Samkvæmt þessu ætti 11 kV, 3x95 mm<sup>2</sup> lína að nægja með til-  
liti til spennufallsins, en af því leiðir að hinar hærri spennur,  
22 og 33 kV, geta einnig fullnægt ninum tilteknu skilyrðum um  
4% mesta spennufall.



Nú skal athugað hvaða víragildleikar koma til greina við 300, 600 og 900 kW álæg og spennurnar 11, 22 og 33 kV, skv. formúlu (5.). Vegna styrkleika línunnar verður þó ekki notaður grennri eirvír en  $25 \text{ mm}^2$ .

1) 300 kW álag.

a) 11 kV

$$q = \frac{300}{1,7 \cdot 11} = 16,0 \text{ mm}^2$$

Samkvæmt framansögðu verður þó eigi reiknað með grennri eirvír en  $25 \text{ mm}^2$ .

Með  $3 \times 25 \text{ mm}^2$  eirvír er spennufallið (skv. formúlu 10.):

$$\Delta U\% = \underline{3,5\%}$$

b) 22 kV

$$q = \frac{300}{1,7 \cdot 22} = 8,0 \text{ mm}^2$$

Með  $3 \times 25 \text{ mm}^2$  eirvír er spennufallið:  $\Delta U\% = \underline{0,9\%}$

c) 33 kV

$$q = \frac{300}{1,7 \cdot 33} = 5,4 \text{ mm}^2$$

Með  $3 \times 25 \text{ mm}^2$  eirvír er spennufallið:  $\Delta U\% = \underline{0,4\%}$

2) 600 kW álag.

a) 11 kV

$$q = 32,0 \text{ mm}^2$$

Með  $3 \times 35 \text{ mm}^2$  eirvír er spennufallið:  $\Delta U\% = 5,3\%$

"  $3 \times 50 \text{ mm}^2$  " " " :  $\Delta U\% = \underline{4,0\%}$

b) 22 kV

$$q = 16,0 \text{ mm}^2$$

Með  $3 \times 25 \text{ mm}^2$  eirvír er spennufallið:  $\Delta U\% = \underline{1,8\%}$

c) 33 kV

$$q = 10,7 \text{ mm}^2$$



Með 3x25 mm<sup>2</sup> eirvír er spennufallið:  $\Delta U\% = \underline{0,8\%}$

3) 900 kW álag.

a) 11 kV

$$q = 48,1 \text{ mm}^2$$

Með 3x50 mm<sup>2</sup> eirvír er spennufallið:  $\Delta U\% = 6,0\%$

" 3x95 mm<sup>2</sup> " " " :  $\Delta U\% = \underline{3,8\%}$

b) 22 kV

$$q = 24 \text{ mm}^2$$

Með 3x25 mm<sup>2</sup> eirvír er spennufallið:  $\Delta U\% = \underline{2,6\%}$

c) 33 kV

$$q = 16 \text{ mm}^2$$

Með 3x25 mm<sup>2</sup> eirvír er spennufallið:  $\Delta U\% = \underline{1,2\%}$

Í framangreindu yfirliti eru undirstrikaðir þeir víragildleikar, sem koma til greina og athugaðir verða nánar í eftirfarandi útreikningum á ýmsum tilhögunum háspennulínunnar. Niðurstöður útreikninganna eru í eftirfarandi töflu 10.

Af töflunni má sjá:

rekstri en 22 kV og 33 kV

í mesta kafi verður

stöðva við söðu málspennu

#### IV. AÐALSPENNISTÖÐVAR

Þert er ráð fyrir því

Grindavík þurfi að vera

af ársifa raforkunni til

Ef 11 kV áttinn er

eina aðalspennistöð við



Tafla 10.

Útreikningar árlegs heildarkostnaðar,  $k$ , fyrir ymsar gerðir háspennulínu til Grindavíkur (frá Keflavíkurlínu), skv. formúlum (1.), (2.) og (3.) (bls. 3), miðað við  $\cos \varphi = 0,95$ ,  $\delta = 0,31$  og rafmagnsverð  $N = 140$  kr./árskw. og  $n = 0,032$  kr./kwst.

Mesta álag kW	Spenna kV	Eirvír $q$ mm <sup>2</sup>	Spennufall $\Delta U$ %	$m_1 = 0,01(p_1 \cdot M + p_2 \cdot a \cdot kV)$ kr./ári	$m_2 = 0,01 p_3 \cdot b \cdot 3 \cdot q \cdot L = 227 \cdot q$ kr./ári	$k_L = m_1 + m_2$ kr./ári	$k_a = \frac{0,0175 \cdot L \cdot (MVA)^2}{q} \cdot 10^6$ kr./ári	$k = k_L + k_a$ kr./ári	Nr.
300	11	25	3,5	24.660	5.670	30.330			
"	22	"	0,9	42.660	"	48.330	2.360	32.690	1
"	33	"	0,4	51.660	"	57.330	590	48.920	2
							260	57.590	3
600	11	50	4,0	24.660	11.340	36.000			
"	22	25	1,8	42.660	5.670	48.330	4.720	40.720	1
"	33	"	0,8	51.660	"	57.330	2.360	50.690	2
							1.050	58.380	3
900	11	95	3,8	24.660	21.550	46.210			
"	22	25	2,6	42.660	5.670	48.330	5.600	51.810	1
"	33	"	1,2	51.660	"	57.330	5.300	53.630	2
							2.360	59.690	3

Af töflunni má sjá, að 11 kV lína er hér allmiklu ódýrari í rekstri en 22 kV og 33 kV línur.

Í næsta kafla verður því næst athugaður kostnaður aðalspennistöðva við enda háspennulínunnar.

#### IV. AÐALSPENNISTÖÐVAR

Gert er ráð fyrir því hér, að við enda háspennulínunnar í Grindavík þurfi að vera 6,6 eða 11 kV spenna til umráða, til þess að dreifa raforkunni til hverfauna í Grindavík og um nágrennið.

Ef 11 kV spenna er höfð á línunni, þarf samkvæmt þessu aðeins eina aðalspennistöð við upphaf línunnar (við Keflavíkurlínu), til



Þess að lækka spennuna úr 33 kV niður í 11 kV.

Með 22 kV rekstursspennu þyrfti hins vegar tvær aðalspennistöðvar, við upphaf línunnar til þess að lækka spennuna úr 33 kV niður í 22 kV, og við enda línunnar til þess að breyta spennunni úr 22 kV í lægri spennu, 6,6 eða 11 kV.

Með 33 kV spennu þarf aftur á móti aðeins eina aðalspennistöð (eins og við 11 kV), til þess að lækka spennuna úr 33 kV niður í 6,6 eða 11 kV við Grindavík.

Kostnað aðalspennistöðvanna má nú reikna út á svipaðan hátt og gert hefur verið um kostnað aðalspennistöðva Keflavíkurveitunnar hér á undan, skv. formúlunum (7.), (8.) og (9.). Verð spennistöðvanna eru fundin á línuriti 2. Niðurstöður útreikninganna eru settar í eftirfarandi töflu 11.

Tafla 11.

Útreikningar árlegs heildarkostnaðar aðalspennistöðva,  $k_s$ , fyrir Grindavíkurveitu, samkvæmt formúlum (7.), (8.) og (9.), miðað við  $p_2 = 10\%$ ,  $\cos \varphi = 0,95$ ,  $\delta = 0,31$ , og rafmagnsverð  $N=140$  kr./árskw.

Mesta álag kW	Hærrí spennan kV	Stofn- kostnaður skv. línuriti 2 S kr.	$k_{s1} = 0,01 \cdot p_2 \cdot S = 0,1 \frac{S}{S}$ kr./ári	$\epsilon_{fe}$ %	$\epsilon_{cu}$ %	$k_{s2} = 87,6 \cdot \frac{kW}{\cos \varphi} \cdot (\epsilon_{fe} + \delta \cdot \epsilon_{cu})^n$ kr./ári	$k_s = k_{s1} + k_{s2}$ kr./ári
300	33	95.000	9.500	0,22	1,27	540	10.040
"	22	85.000	8.500	"	"	"	9.040
600	33	170.000	17.000	0,22	1,27	1.080	18.080
"	22	150.000	15.000	"	"	"	16.080
900	33	235.000	23.500	0,22	1,27	1.630	25.130
"	22	210.000	21.000	"	"	"	22.630



V. NIÐURSTÖÐUR UM GRINDAVÍKURVEITU.

Í eftirfarandi töflu 12. eru teknar saman helztu niðurstöður um háspennulínuna úr töflu 10, og um aðalspennistöðvarnar úr töflu 11.

Tafla 12.

Útreikningar á árlegum heildarkostnaði Grindarvíkurveitu skv. töflum 10. og 11., miðað við rafmagnsverð  $N=140$  kr./árskw.

Mesta álag háspennu- línu og spenna kW	Háspennulína				Aðalspennistöðvar		Kostnaður samtals $k_s$ kr./ári	Heildar- kostnaður háspennu- veitu $h = k + k_s$ kr./ári	Nr.
	Spenna kV	Eirvír q mm <sup>2</sup>	Spennu- fall $\Delta U$ %	Heildar- kostnaður línu k kr./ári	Tala	Kostnaður einnar spennistöðvar k kr./ári			
300	11	25	3,5	32.690	1	10.040	10.040	42.730	1
"	22	"	0,9	48.920	2	(10.040) 9.040	19.080	68.000	3
"	33	"	0,4	57.590	1	10.040	10.040	67.630	2
600	11	50	4,0	40.720	1	18.080	18.080	58.800	1
"	22	25	1,8	50.690	2	(18.080) 16.080	34.160	84.850	3
"	33	"	0,8	58.380	1	18.080	18.080	76,460	2
900	11	95	3,8	51.810	1	25.130	25.130	76.940	1
"	22	25	2,6	53.630	2	(25.130) 22.630	47.760	101.390	3
"	33	"	1,2	59.690	1	25.130	25.130	84.820	2

Samkvæmt töflunni er háspennuveitan ódýrust í rekstri með 11 kV háspennulínu og  $3 \times 95$  mm<sup>2</sup> eirvír.

miðað við 900 kW álag. Með minni notkun er 11 kV lína einnig ódýrari í rekstri en 22 kV eða 33 kV línur. Mismunur reksturskostnaða 11 kV og 33 kV lína er, skv. töflunni, sem hér segir:

- 1) Við 300 kW álag telst 33 kV veita um 58% dýrari í rekstri en 11 kV veita
- 2) Við 600 kW álag telst 33 kV veita um 30% dýrari í rekstri en 11 kV veita



3) Við 900 kW álag telst 33 kV veita um 10% dýrari í rekstri en 11 kV veita.

Flutningsgetan er sem hér segir:

Með 4% spennufalli getur 11 kV, 3x95 mm<sup>2</sup> lína flutt um 940 kW  
" 4% " " 33 kV, 3x25 mm<sup>2</sup> " " " 3000 "

Kostur 33 kV línunnar fram yfir 11 kV línu er þannig, að flutningsgetan við sama spennufall er verulega meiri.

Kost 11 kV línunnar má hins vegar telja, auk minni stofn- og reksturskostnaðar, að spennistöð sú, er lækkar spennuna úr 33 kV niður í 11 kV við Keflavíkurlínu í nánd við Vogu, gæti einnig komið að notum fyrir Vogana.

Að endingu skal athugað sérstaklega, eins og gert var fyrir Keflavíkurveitu (sbr. bls. 16-18), hvort niðurstöðurnar um gerð háspennulínunnar verða aðrar, ef kostnaður orkutapanna er reiknaður á nokkuð annan hátt en hér að framan, þ.e. ef sleppt er liðnum (8760·*d*·*n*) við útreikninga  $k_a$  í töflu 10. Með því að sleppa þessum lið, minnkar orkutapakostnaðurinn  $k_a$  um allt að 38%. Við athugun á töflu 10. sézt þó strax, að  $k_a$  er í þessu tilfelli svo lítill hluti alls af öllum árlegum kostnaði línunnar,  $k$ , að framannefnd hugsanleg lækkun á  $k_a$  myndi ekki breyta áður-fengnum niðurstöðum um val á gerð háspennulínunnar.



## 3. hluti:

SANDGERÐISVEITA.I. INNGANGUR.

Orkuveitusvæði þessa hluta Reykjanesveitunnar, sem nefnd er hér Sandgerðisveita, nær um Gerða- og Miðneshreppa.

Leið háspennulínu veitunnar er í eftirfarandi athugunum nugsuð þannig:

Frá aðalspennistöð Keflavíkur um Leiru út í Garðinn, þaðan til Sandgerðis, en álma þaðan til Hvalsness.

Lengd línunnar reiknast sem hér segir:

1. Frá Keflavík í Garðinn	10 km
2. Úr Garðinum til Sandgerðis	5 "
3. Frá Sandgerði til Hvalsness	<u>10 "</u>

Samtals 25 km

II. AFLÞÖRF.

Tala íbúa á orkuveitusvæði Sandgerðisveitunnar mun vera nálægt því er hér segir:

a) Í Gerðahreppi

Leiru	um 40 manns
Garði	<u>"420 "</u>
Samtals um 460 manns	

b) Í Miðneshreppi

Sandgerði	um 300 manns
Hvalsnesi	" 60 "
Annars staðar	<u>" 190 "</u>

Samtals um 550 manns



Í Garðinum er allmikil smábáta-útgerð; þar er 1 frystihús starfandi.

Í Sandgerði eru 2 frystihús, en þar er mikil útgerð á vertíðinni, eins og kunnugt er. Síðast liðnar vertíðir munu hafa róið þaðan um 40 vérbátar. Á vertíðinni er jafnan mjög margt aðkomumanna í Sandgerði.

Gizkað skal á, að aflþörf Sandgerðisveitunnar sé svipuð í hlutfalli við fólksfjölda og Keflavíkurveitunnar og Grindavíkurveitunnar, sbr. það sem á undan er sagt um aflþörf þessara síðast töldu veitna.

Samkvæmt því skal reiknað með, að aflþörf veitunnar kunni að verða allt að 1500 kW í fyrirsjáanlegri framtíð.

Í eftirfarandi útreikningum er hugsað, að álagi veitunnar sé skift á tvo staði háspennulínunnar, þannig:

1500 kW mesta álag í 10 km fjarlægð frá Keflavík (í Garðinum)  
 750 " " " " 15 " " " " (" Sandgerði)

Ennfremur verður hér, eins og áður, reiknað með tveimur öðrum stigum á aukningu rafmagnsnotkunarinnar, þ.e. 1/3 og 2/3 hlutum af framannefndum álögum veitunnar.

Háspennulínan frá Keflavík í Garðinn verður samkvæmt þessu reiknuð út fyrir 1500, 1000 og 500 kW álög.

Háspennulínan úr Garðinum til Sandgerðis verður aftur á móti reiknuð út fyrir 750, 500 og 250 kW.

### III. HÁSPENNULÍNAN FRÁ KEFLAVÍK TIL SANDGERÐIS.

Háspennulínu þessari er skift hér í tvo hluta, þ.e. línu frá Keflavík í Garðinn, og línu úr Garði til Sandgerðis.

Spennufall háspennulínunnar má í hverju tilfalli reikna út skv. formúlu (6.), bls. 5:

$$\Delta U\% = \frac{L}{10} \cdot \frac{\text{kW} \cdot Z}{\text{kV}^2}$$



A. Línan Keflavík - Gerður, 10 km. að lengd.

Ef reiknað er með allt að 1500 kW álagi á þessum hluta háspennulínunnar, má skrifa ofangreinda formúlu þannig:

$$\Delta U\% = \frac{10}{10} \cdot \frac{1500 Z}{kV^2} = 1500 \cdot \frac{Z}{kV^2}$$

Nú skal athugað hvaða spennur koma til greina á línunni, ef leyft er t.d. allt að 4% spennufall.

1) Við 6,6 kV fæzt:

$$\Delta U\% = 34,2 Z$$

$$\text{Fyrir } 95 \text{ mm}^2 \text{ eirvír: } Z = 0,287; \Delta U\% = 9,9\%$$

$$\text{" } 120 \text{ " " : } Z = 0,248; \Delta U\% = 8,5\%$$

2) Við 11 kV fæzt:

$$\Delta U\% = 12,4 Z$$

$$\text{Fyrir } 70 \text{ mm}^2 \text{ eirvír: } Z = 0,351; \Delta U\% = 4,4\%$$

$$\text{" } 95 \text{ " " : } Z = 0,287; \Delta U\% = 3,6\%$$

Með tilliti til spennufallsins koma samkvæmt þessu til greina 11 kV eða hærri spennur (þ.e. 22 eða 33 kV). 6,6 kV spenna telst aftur á móti ekki til frambúðar, vegna of mikils spennufalls; verður því ekki reiknað með þeirri spennu í eftirfarandi athugunum.

Þessu næzt skal athugað, hvaða víragildleikar koma til greina við 500, 1000 og 1500 kW álög, og spennurnar 11, 22 og 33 kV. Til grundvallar þessum athugunum verður fyrst lögð formúla (5.) (sbr., útreikninga Keflavíkur og Grindavíkurveitna hér á undan); formúlan er þannig:

$$kW = 1,7 \cdot kV \cdot q$$

Niðurstöðurnar um hagkvæmstu víragildleikana skv. þessari formúlu eru settar hér á eftir. Jafnframt er getið um þau venju-  
leg mál eirvirsins, sem næst eru hinum útreiknuðu málum, og til



greina koma. Með tilliti til styrkleika línunnar er þó hvergi valinn grennri eirvír en  $25 \text{ mm}^2$ .

1) 500 kW álag.

- a) 11 kV;  $q = \frac{500}{1,7 \cdot 11} = 26,7 \text{ mm}^2$ . Valið: 25  $\text{mm}^2$   
 b) 22 kV;  $q = \frac{500}{1,7 \cdot 22} = 13,4$  " " : 25 "  
 c) 33 kV;  $q = \frac{500}{1,7 \cdot 33} = 8,9$  " " : 25 "

2) 1000 kW álag.

- a) 11 kV;  $q = 53,5 \text{ mm}^2$ . Valið: 50  $\text{mm}^2$   
 b) 22 kV;  $q = 26,7$  " " : 25 "  
 c) 33 kV;  $q = 17,8$  " " : 25 "

3) 1500 kW álag.

- a) 11 kV;  $q = 80,3 \text{ mm}^2$ . Valið: 95  $\text{mm}^2$ .  
 b) 22 kV;  $q = 40,1$  " " : 35 "  
 c) 33 kV;  $q = 26,7$  " " : 25 "

Í eftirfarandi töflu 13. er því næst gerður samanburður á reksturskostnaði háspennulínunnar af framangreindum gerðum og með hinum mismunandi álögum, 500, 1000 eða 1500 kW. Fyrir 11 kV línurnar er reiknað með núlltaug, auk hinna þriggja spennu- hafa tauga, til þess að nota megí ódýrar einfasa línur (þ.e. fasa og núlltaug) þar sem fært þykir, t.d. í minni háttar hliðarveitur og heimtaugar.



Tafla 13.

Útreikningar árlegs heildarkostnaðar,  $k'$ , fyrir 10 km. háspennulínu frá Keflavík í Garðinn, skv. formúlum (1.), (2.) og (3.), miðað við  $\cos \varphi = 0,95$ ,  $\sigma = 0,31$  og  $N = 140$  kr./árskw.

Mesta álag kW	Spenna kV	Eirvír $q$ mm <sup>2</sup>	Spennufall $\Delta U$ %	$m_1 = 0,01(p_1 \cdot M + p_2 \cdot a \cdot kV)$ kr./ári	$m_2 = 0,01 \cdot p_3 \cdot b \cdot q \cdot L^3 = 126 \cdot q^1$ kr./ári	$k_L = m_1 + m_2$ kr./ári
500	11	25 <sup>2)</sup>	3,3	13.700	4.200	17.900
"	22	"	0,8	23.700	3.150	26.850
"	33	"	0,4	28.700	"	31.850
1000	11	50 <sup>2)</sup>	3,7	13.700	8.400	22.100
"	22	25	1,6	23.700	3.150	26.850
"	33	"	0,7	28.700	"	31.850
1500	11	95 <sup>2)</sup>	3,6	13.700	14.000	27.700
"	22	35	1,8	23.700	4.410	28.110
"	33	25	1,1	28.700	3.150	31.850

$k_a = \frac{0,175 \cdot L}{q} \cdot (N \cdot 7600 \cdot n) \cdot 10^6$ kr./ári	$k' = k_L + k_a$	Nr.
3.640	21.540	1
910	27.760	2
400	32.250	3
7.300	29.400	1
3.640	30.490	2
1.620	33.470	3
8.600	36.300	3
5.800	33.910	1
3.640	35.490	2

B. Línan Garður - Sandgerði, 5 km. að lengd.

Reiknað skal með því hér, að á þessum hluta háspennulínunnar, sé álagið jafnan helmingi minna en á línunni Keflavík - Gerður, þ.e. að til Sandgerðis fari um helmingur alls rafafis veitunnar. Af þessu leiðir, að skv. formúlu (5.) verða ninir hagkvæmstu vírar línunnar Garður - Sandgerði helmingi grennri en hagkvæmstu vírar í línunni Keflavík - Gerður. Þó koma, eins og áður er getið, ekki til greina grennri eirvívarar en 25 mm<sup>2</sup> gildir.

- 1) Fyrir 11 kV línu kostnaður vegna núlltaugar að auki.
- 2) Þrjár taugar og núlltaug að auki.



Ennfremur ber að taka til greina, að samanlagt spennufall línunnar frá Keflavík til Sandgerðis verði ekki of mikið, t.d. eigi yfir 5%.

Að þessu öllu athuguðu verða fyrir valinu þeir víragildleikar fyrir línuna úr Garði til Sandgerðis, sem taldir eru í eftirfarandi töflu 14. Í töflunni er gerður samanburður, á sama hátt og í töflu 13., á reksturskostnaði línunnar af þeim gerðum sem til greina koma, og með 250, 500 og 750 kW. álögum.

Tafla 14.

Útreikningar árlegs heildarkostnaðar, k", fyrir 5 km.

háspennulínu úr Garði til Sandgerðis, skv. formúlum í töflu 13., og miðað við rafmagnsverð N=140 kr./árskw.

Mesta álag kW	Spenna kV	Eirvír q mm <sup>2</sup>	$\Delta U''$ %	m <sub>1</sub> kr./ári	m <sub>2</sub> kr./ári	k <sub>L</sub> = m <sub>1</sub> +m <sub>2</sub> kr./ári	k <sub>a</sub> kr./ári	k" = k <sub>L</sub> +k <sub>a</sub> kr./ári	Nr.
250	11	25	0,8	6.850	2.100	8.950	460	9.410	1
"	22	"	0,2	11.850	1.580	13.430	110	13.540	2
"	33	"	0,1	14.350	"	15.930	50	15.980	3
500	11	50	0,9	6.850	4.200	11.050	910	11.960	1
"	22	25	0,4	11.850	1.580	13.430	460	13.890	2
"	33	"	0,2	14.350	"	15.930	200	16.130	3
750	11	95	0,9	6.850	7.000	13.850	1.070	14.920	2
"	22	25	0,6	11.850	1.580	13.430	200	13.630	1
"	33	"	0,3	14.350	"	15.930	460	16.390	3



IV. SPENNISTÖÐVAR.

Í eftirfarandi töflu 15. er reiknaður út árlegur kostnaður ýmissa gerða af spennistöðvum, er til greina koma í Sandgerðisveituna, fyrir þær spennur og mestu álög sem ræðir um í undanfarandi töflum 13. og 14.

Í töflu 15. eru þó ekki teknar með þær spennistöðvar, er þarf til þess að lækka spennuna úr 11 eða 6,6 kV niður í notkunarspennu, 220 volt, þar eð þessar spennistöðvar eru sameiginlegar, hvaða gerð sem valin er að öðru leyti á veitunni, og kostnaður þeirra breytir því eigi niðurstöðum í samanburði ýmissa tilhaganna veitunnar

Tafla 15.

Útreikningar á árlegum kostnaði spennistöðva í Sandgerðisveitu.

Stærð spenni- stöðvar kW	Spenna kV	Stofn- kostnaður skv. línuriti 2 S kr.	Vextir, viðhald fyrning o.fl. $k_{s1} =$ 0,1 S kr./ári	Kostnaður orkutapa $k_{s2} =$ $87,6 \cdot \frac{\text{kW}}{\cos \varphi}$ $\cdot (\xi_{fe} + \xi_{cu})$ kr./ári	Heildar- kostnaður $k_s =$ $k_{s1} + k_{s2}$ n kr./ári
250	22/11	80.000	8.000	540	8.540
500	"	125.000	12.500	1.080	13.580
750	"	180.000	18.000	1.450	19.450
1000	"	225.000	22.500	1.930	24.430
1500	"	310.000	31.000	2.300	33.300
250	33/22 eða 11	90.000	9.000	540	9.540
500	"	145.000	14.500	1.080	15.580
750	"	200.000	20.000	1.450	21.450
1000	"	255.000	25.500	1.930	27.430
1500	"	350.000	35.000	2.300	37.300



Ef valin væri 11 kV lína, frá Keflavík til Sandgerðis, kæmi, auk þess sem talið er í töflu 15., til greina árlegur kostnaður vegna hlutdeildar í aðalspennistöð Keflavíkur, en þar yrði spennan lækkuð úr 33 kV niður í 11 kV. Sé í þessu tilfelli reiknað með 4000 kW aðalspennistöð í Keflavík, verður stofnkostnaður hennar ( með 2 spennum), skv. ágizkun á línuriti 2., 630.000 kr. Hlutdeild Sandgerðisveitunnar í þessum kostnaði í hlutfalli við 1500 kW mesta álag, yrði þá  $S=236.000$  kr. Árlegur kostnaður,  $k_{s1}$ , verður þá 23.600 kr. Hér við bætist kostnaður orkutapa í spennum,  $k_{s2}$ , er næmi um 2200 kr./ári fyrir 1500 kW mesta álag. Allur kostnaðurinn vegna 1500 kW hlutdeildar í aðalspennistöð Keflavíkur yrði þá 25.800 kr./ári.

#### V. NIÐURSTÖÐUR.

Í töflu 16. eru taldar þær tilhaganir á Sandgerðisveitunni, sem helzt koma til athugunar, með spennunum 11, 22 og 33 kV, og miðað við 1500 kW mesta álag.



Tafla 16.

Samanburður á árlegum kostnaði ýmissa tilhaganna Sandgerðis-  
veitu, miðað við 1500 kW mesta álag, og rafmagnsverð  $N=140$  kr/árskw.

Tilhögun nr.	Háspennulínur					Spennistöðvar			Reksturskostnaður háspennuveitu					Nr.	
	Keflavík-Garður		Garður-Sandgerði		Spennu- fall $\Delta U$ %	Staður spenni- stöðvar	Stærð spennist. kW	Spenna kV	Háspennulínur		Spennistöðvar		Heildar- kostnaður veitu $h=k+k_s$ kr./ári		
	kV	$q_2$ mm <sup>2</sup>	kV	$q_2$ mm <sup>2</sup>					Keflavík- Garður k kr./ári	Garður- Sandgerði k'' kr./ári	Samtals k kr./ári	Kostnaður einstakra stöðva kr./ári			Samtals k <sub>s</sub> kr./ári
1	11 <sup>1)</sup>	95	11 <sup>1)</sup>	95	4,5	Keflavík	1500 <sup>2)</sup>	33/11	36.300	14.920	51.220	25.800 <sup>2)</sup>	25.800	77.020	1
2	22	35	22	25	2,4	Keflavík Garður Sandgerði	1500 750 750	33/22 22/11 22/11	33.910	13.630	47.540	37.300 19.450 19.450	76.200	123.740	5
3	22	35	11 <sup>1)</sup>	50	3,2	Keflavík Garður	1500 1500	33/22 22/11	33.910	13.100	47.010	37.300 33.300	70.600	117.610	4
4	33	25	33	25	1,4	Garður Sandgerði	750 750	33/11 33/11	35.490	16.390	51.880	21.450 21.450	42.900	94.780	3
5	33	25	11 <sup>1)</sup>	50	2,5	Garður	1500	33/11	35.490	13.100	48.590	37.300	37.300	85.890	2
6	33	25	6,6								51.240			88.540	[2]

- 1) Með núlltaug, auk þriggja spennuhafa tauga  
2) 1500 kW þáttaka í 4000 kW aðalspennistöð Keflavíkur



Samkvæmt töflu 16. er tilhögun nr. 1 ódýrust, en þar næst tilhaganir nr. 5 og nr. 4.

Í stað 11 kV línu úr Garði til Sandgerðis skv. tilhögun nr. 5, væri hugsanlegt að hafa 6,6 kV línu þessa leið, en hafa 33 kV línu frá Keflavík til Garðs eins og áður.

Með því að hafa 6,6 kV línu í stað 11 kV línu, myndi línu-  
kostnaðurinn  $k_L$  lækka um rúmlega 10%. Hins vegar breytist orku-  
tapakostnaðurinn  $k_a$  í öfugu hlutfalli við kvaðrat spennunnar, þ.e.  
 $k_a$  myndi hækka um 178% miðað við sama víragildleika. Niðurstaðan  
verður þá sú, að allur línukostnaður 6,6 kV línunnar yrði 51.240  
kr./ári í stað 48.590 kr./ári fyrir 11 kV línu (skv. töflu 16.)  
miðað við 750 kW mesta álag í Sandgerði, eða um 5,5% hærrí.

Mesta álag í Sandgerði mætti hæzt vera um 400 kW, ef 6,6 kV  
lína ætti að vera jafn hagstæð eða hagstæðari en 11 kV lína, hvoru-  
tveggja miðað við  $3 \times 50 \text{ mm}^2$  eirvír og núlltaug í línunni.

Að lokum skal athugað, hver reksturskostnaður þessara þriggja  
hagkvæmustu tilhagana yrði, ef miðað er við önnur stig í aukningu  
rafmagnsnotkunarinnar en framangreind 1500 kW. Þessar athuganir  
eru settar í eftirfarandi töflu 17. Í töflunni er valið að reikna  
með 500 og 1000 kW mestu álögum, auk 1500 kW, í samræmi við það  
sem reiknað er með í undanfarandi töflum 13., 14. og 15.



Tafla 17.

Yfirlit um árlegan kostnað Sandgerðisveitu fyrir 3 hagkvæmstu tilhaganirnar, er til greina koma skv. töflu 16. miðað við 3 mismunandi möguleika um mesta álag veitunnar, þ.e. 1500, 1000 og 500 kW. Rafmagnsverð N=140 kr./árskw.

Tilhögun nr.	Háspennulínur						Spennu- fall $\Delta U\%$	Spennistöðvar		Spenna kV	Reksturskostnaður háspennuveitu			Nr.
	Keflavík-Garður		Garður-Sandgerði		Staður spenni- stöðvar	Stærð spennist. kW		Háspennu- línur samtals k kr./ári	Spennistöðvar samtals $k_s$ kr./ári		Heildarkostn- aður veitu $h = k+k_s$ kr./ári			
	kW	kV	q mm <sup>2</sup>	kW								kV	q mm <sup>2</sup>	
1	1500	11	95	750	11	95	4,5	Keflavík	1500 <sup>1)</sup>	33/11	51.220	25.800 <sup>1)</sup>	77.020	1
5	"	33	25	"	"	50	2,5	Garður	"	"	48.590	37.300	85.890	2
4	"	"	"	"	33	25	1,4	Garður Sandgerði	750 "	"	51.880	42.900	94.780	3
1	1000	11	95	500	11	95	3,0	Keflavík	1000 <sup>1)</sup>	33/11	45.820	17.200 <sup>1)</sup>	63.020	1
5	"	33	25	"	"	50	1,7	Garður	"	"	45.430	27.430	72.860	2
4	"	"	"	"	33	25	0,9	Garður Sandgerði	500 "	"	49.600	31.160	80.760	3
1	500	11	95	250	11	95	1,5	Keflavík	500 <sup>1)</sup>	33/11	42.500	8.600 <sup>1)</sup>	51.100	1
5	"	33	25	"	"	50	0,8	Garður	"	"	43.530	15.580	59.110	2
4	"	"	"	"	33	25	0,5	Garður Sandgerði	250 "	"	48.230	19.080	67.310	3

Niðurstöður töflu 17. eru þær, að 11 kV lína, með  $3 \times 95 \text{ mm}^2$  og núltaug, sé ólýrust í rekstri af hinum tilgreindu tilhögunum, hvort sem miðað er við 1500, 1000 eða 500 kW mestu álag veitunnar.

1) Þátttaka í kostnaði aðalspennistöðvar Keflavíkur, í hlutfalli við mesta álag.



## 4. hluti:

HAFNAVEITA

Lengd háspennulínu frá Keflavík til Hafna áætlast um 12 km.

Tala íbúa á orkuveitusvæði Hafnaveitunnar mun vera rúmlega 100. Með hliðsjón af því, sem gizkað er á um aflþörf annara hluta Reykjanesveitunnar hér á undan, má ætla, að aflþörfin í Höfnum kunni að verða 150-200 kW í fyrirsjáanlegri framtíð. Þá er einnig hugsanlegt, að þörf verði enn meiri raforku, m.a. vegna flugvalla-mannvirkja í nánd við veituna.

Af undanfarandi athugunum má þegar ráða, að eigi muni vera þörf á hærri spennum á veitunni en 6,6 eða 11 kV.

Við tiltölulega litla aflnotkun mun 6,6 kV veita vera hagkvæmari en 11 kV veita, en þegar komið er upp að vissum mörkum í rafmagnsnotkuninni, verður 11 kV veitan hagkvæmari, -þrátt fyrir nokkru hærri stofnkostnað hennar (sbr. um Sandgerðisveitu hér að framan).

Hér skal látið nægja að athuga annars vegar 6,6 kV veitu með  $3 \times 25 \text{ mm}^2$  eirvír í háspennulínunni og hins vegar 11 kV veitu með samskonar vírum í háspennulínunni - og leitast við að finna hér um bil það álag, þar sem báðar gerðir veitunnar eru jafn dýrar í rekstri. Fyrir neðan þessi mörk álagsins ætti 6,6 kV veitan að vera hagkvæmari, en fyrir ofan mörkin sé 11 kV veitan ódýrari í rekstri.

1) 6,6 kV veita,  $3 \times 25 \text{ mm}^2$  eirvír í háspennulínu.

Línukostnaður (skv. formúlu (2.))  $k_L = 17.800 \text{ kr./ári}$

Orkutapakostnaður (skv. formúlu (3.))

Kostnað yfir rúmlega 300 kW.



$$k_a = \frac{0,0175 \cdot 12}{25 \cdot 0,95^2} \cdot 227 \cdot \left(\frac{\text{kw}}{6,6}\right)^2 = 2,11 \cdot \left(\frac{\text{kw}}{6,6}\right)^2 = 0,0485 \text{ kw}^2 \quad \text{kr./ári}$$

Allur kostnaður háspennulínu  $k = k_L + k_a = 17,800 + 0,0485 \cdot \text{kw}^2$  kr./ári

2) 11 kV veita, 3x25 mm<sup>2</sup> eirvír í háspennulínu.

Línukostnaður  $k_L = 20.200$  kr./ári

Orkutapakostnaður  $k_a = 2,11 \cdot \left(\frac{\text{kw}}{11}\right)^2 = 0,0174 \cdot \text{kw}^2$  "

Annar kostnaður háspennulínu  $k_{11\text{kV}} = k_L + k_a = 20.200 + 0,0174 \text{ kw}^2$  "

Ef báðar gerðir háspennulínunnar eru jafn dýrar í rekstri, má setja

$$k_{6,6 \text{ kV}} - k_{11 \text{ kV}} = 0$$

p.e.:

$$17,800 + 0,0485 \text{ kw}^2 - 20.200 - 0,0174 \text{ kw}^2 = 0$$

eða

$$0,0311 \text{ kw}^2 - 2,400 = 0 \quad \dots \dots \dots (11.)$$

$$\text{kw} = \frac{\sqrt{2.400}}{0,0311} = 277$$

Auk þessa ber að taka tillit til þess, að spennistöðvar fyrir 11 kV eru um 10% dýrari en fyrir 6,6 kV. Mismunur reksturskostnaðar á 11 og 6,6 kV spennistöðvum, miðað við um 277 kW stærð, myndi væntanlega nema um 500 kr./ári (svarandi til um 5000 kr. mismunar í stofnkostnaði). Sé þessari upphæð bætt við mismun línukostnaðarins í formúlu (11.), verður formúlan þannig:

$$0,0311 \text{ kw}^2 - 2900 = 0 \quad \dots \dots \dots (12.)$$

eða

$$\text{kw} = \frac{2900}{0,0311} = 305 \quad \dots \dots \dots (13.)$$

p.e. 11 kV veitan er þá fyrst ódýrari í rekstri, þegar álagið er komið yfir rúmlega 300 kW.<sup>1)</sup>



Samkvæmt formúlu (12.), verður mismunurinn á reksturskostnaði sem hér segir:

1)  $\underline{kw = 100}$

$$0,0311 = 100^2 - 2900 = -2589$$

p.e. 11 kV veitan er um 2600 kr. dýrari á ári en 6,6 kV veitan.

Mismunurinn samsvarar um 26 kr./árskw.

2)  $\underline{kw=200}$

$$0,0311 \cdot 200^2 - 2900 = -1656$$

p.e. 11 kV veitan er um 1650 kr. dýrari á ári en 6,6 kV veitan.

Mismunurinn samsvarar um 8 kr./árskw.

3)  $\underline{kw = 250}$

$$0,0311 \cdot 250^2 - 2900 = -950$$

p.e. 11 kV veitan er um 950 kr. dýrari á ári en 6,6 kV veitan.

Mismunurinn samsvarar tæpum 4 kr./árskw.

4)  $\underline{kw = 300}$

$$0,0311 \cdot 300^2 - 2900 = -100$$

p.e. veiturnar eru álíka dýrar í rekstri, eins og áður fundið.

Spennufallið í framangreindum tilfellum verður sem hér segir:

1)  $\underline{kw=100}$   $\Delta U \%_{6,6kV} = 0,945 \cdot \frac{kw}{kV^2} = \underline{2,2 \%}$ ,  $\Delta U \%_{11kV} = \underline{0,8 \%}$

2)  $\underline{kw=200}$   $\Delta U \%_{6,6kV} = \underline{4,3 \%}$   $\Delta U \%_{11kV} = \underline{1,6 \%}$

3)  $\underline{kw=250}$   $\Delta U \%_{6,6kV} = \underline{5,4 \%}$   $\Delta U \%_{11kV} = \underline{2,0 \%}$

4)  $\underline{kw=300}$   $\Delta U \%_{6,6kV} = \underline{6,5 \%}$   $\Delta U \%_{11kV} = \underline{2,3 \%}$

1)

Skv. formúlu (5.) er :  $kw = 1,7 \cdot kV \cdot q$ , eða

$$q = \frac{kw}{1,7kV} \cdot \text{Við } 6,6 \text{ kV og } 300 \text{ kw fæzt } q \approx 27 \text{ mm}^2$$

Við 11 kV spennu fæzt  $q = 16 \text{ mm}^2$ . Af þessu má ráða, að eigi er ástæða til að reikna hér með gildari en  $25 \text{ mm}^2$  eirvír, við 6,6 eða 11 kV.



Af framangreindum athugunum má ráða, að strax og álag Hafna -  
veitunnar er komið upp að 200 kW, er mismunurinn á reksturskostnaði  
11 kV og 6,6 kV veitu orðinn svo hverfandi lítill (þ.e. um 8 kr/árskv.  
að telja má óeðlilegt að hann einn ráði úrslitum um val á spennu  
veitunnar.

Hins vegar má nefna þessa kosti 11 kV veitu fram yfir 6,6 kV  
veituna:

- 1) Spennufallið verulega minna ( $\Delta U_{6,6 \text{ kV}} = 2,78 \cdot \Delta U_{11 \text{ kV}}$ ),
- 2) Flutningsgetan að sama skapi meiri,
- 3) Möguleikar á að hafa núlltaug í 11 kV kerfinu, og nota hlut-  
fallslega ódýrari ein-fasa línur (með um 6 kV spennu milli fasa  
og núlltaugar), t.d. í minni háttar nliðarveitur og heimtaugar.

25 m<sup>2</sup> virvir.

Af niðri er við 12 km. línulengd og allt að 4% spennufall. Sam-  
svæfar það, að álagið í þessum fjárlögð frá línuþyrjun vegi verði  
600 kW.



## 5. hluti:

VOGA- og VATNSLEYSUSTRANDARVEITA.

Lengd háspennulínu þessarar veitu verður væntanlega svipuð eða lítið eitt meiri en Hafnarveitu, þ.e. 12-15 km.

Mannfjöldinn á orkuveitusvæði veitunnar mun vera um 300.

Voga-, og Vatnsleysustrandarveitan myndi samkvæmt þessu væntanlega verða álíka eða nokkuru stærri en Hafnaveitan. Sé nú eigi reiknað með minna en 300 - 400 <sup>kw</sup>álagi í framtíðinni á þessari veitu sem hér um ræðir, má ráða af því sem sagt hefur verið um Hafnaveituna, að 11 kV spenna muni vera hagkvæmari hér en 6,6 kV spenna.

Ódýrasta gerð 11 kV veitu, 3-fasa með núlltaug, yrði þá með 25 mm<sup>2</sup> eirvír.

Ef miðað er við 12 km. línulengd og allt að 4% spennufall, samsvavar það, að álagið í þeirri fjarlægð frá línubyrjun megi verða um 500 kw.



YFIRLIT (Resumé):

Eins og ráða má af greinargerðinni, hafa til grundvallar útreikningum á stofnkostnaði háspennulínanna verið lagðar þessar tölur:

Fyrir 6,6 kV línu, 3x50 mm <sup>2</sup> eirvír	17.000 kr./km.
" 11 " " " " " , með núlltaug	20.000 "
" 22 " " " " " "	30.000 "
" 33 " " " " " "	35.000 "
" 44 " " " " " "	40.000 "
" 66 " " " " " "	50.000 "

Stofnkostnaður aðalspennistöðva er reiknaður út samkvæmt því er greinir á meðfylgjandi línuriti 2.

Við útreikning á kostnaði orkutapanna í háspennulínunum og aðalspennistöðvum er í greinargerðinni annars vegar reiknað með rafmagnsverðinu N=140 kr./árskw. og jafnframt til hliðsjónar með verðinu N=160 kr./árskw., miðað við upphaf Reykjanesveitunnar við Hafnarfjörð. Nánar er sýnt á meðfylgjandi línuriti 1., hver áhrif mismunandi verð raforkunnar hafa á árlegan heildarkostnað háspennulínu.

Helztu niðurstöður greinargerðarinnar eru þá þessar:

1. hluti: Keflavíkurveita.

Komist er að þeirri niðurstöðu, að til frambúðar sé hagkvæmast að nota 33.000 volta rekstursspennu á Keflavíkurlínu, með allt að 3x95 mm<sup>2</sup> gildum eirvír í línunni.

Fyrst um sinn sé þó hafður 3x33,6 mm<sup>2</sup> eirvír í línunni.

Reka megi línuna fyrst um sinn með 22.000 volta spennu, meðan álag línunnar er ennþá hlutfallslega lítið, en með því móti sparast að sinni spennubreytir við upphaf línunnar við Hafnarfjörð.



2. hluti: Grindavíkurveita.

Í þessari veitu virðist annaðhvort munu koma til greina, að hafa 11.000 volta háspennulínu, með 3x95 mm<sup>2</sup> eirvír, eða 33.000 volta línu með 3x25 mm<sup>2</sup> eirvír.

Sé álagið á línunni að jafnaði lítið, er 11.000 volta línan nokkru ódýrari í rekstri en 33.000 volta línan.

Mismunurinn á reksturskostnaði línanna minnkar hinsvegar eftir því sem álag veitunnar vex, og við rúmlega 900 kw álag má ætla, að reksturskostnaður beggja gerða línunnar sé orðinn svipaður. Við enn meira álag verður síðan 33.000 volta línan ódýrari en hin gerðin í rekstri.

Með þeim forsendum, sem reiknað er með í greinargerðinni, um væntanlegan aflflutning línunnar, koma þannig báðar hinar tilgreindu gerðir línunnar fyllilega til greina. Þessar forsendur um aflflutninginn kunna hins vegar að breytast, áður en hafist verður handa um byggingu veitunnar, en þegar þetta er ritað er ekki fyrirsjáanlegt, að byrjað verði á næstunni á því verki.

Með tilliti til þessa, skulu ekki gerðar hér endanlega tillögur um gerð línunnar, en á grundvelli þessarar greinargerðar má síðar auðveldlega draga ályktanir um val á gerð línunnar, í samræmi við þær forsendur er þá kunna að gilda.

Þó má benda hér á, að 33.000 volta línan verður að teljast til töluvert meiri frambúðar en 11.000 volta lína, þar sem flutningsgeta hinnar fyrnefndu er verulega meiri, eða um 3,2-föld, miðað við sama spennufall á línunni í báðum tilfellum.

3. hluti: Sandgerðisveita.

Niðurstöður athugananna eru þær, að línan frá Keflavík



um Garð til Sandgerðis sé hagkvæmust með 11.000 volta spennu og 3x95 mm<sup>2</sup> eirvír, auk núltaugar.

Síðar, er rafmagnsnotkunin hefur vaxið umfram það sem reiknað er með í greinargerðinni, virðist eðlilegt að framlengja 33.000 volta línuna frá Keflavík til Garðs, en nota þá 11.000 volta línuna sem fyrir er, sem dreifilínu til notenda á leiðinni.

4. hluti: Hafnaveita.

Komist er að þeirri niðurstöðu, að reksturskostnaður 6.600 volta og 11.000 volta lína myndu verða svipaður í þessari veitu. Hins vegar hafi 11.000 volta línun verulega kosti fram yfir hina, þar á meðal töluvert meiri flutningsgetu. Með tilliti til þessa er talið rétt að velja hér 11.000 volta spennu á línunni og 3x25 mm<sup>2</sup> eirvír.

5. hluti: Voga- og Vatnsleysustrandarveita.

Niðurstaðan um gerð veitunnar er hér hin sama og fyrir Hafnaveitu, þ.e. að hagkvæmast megi teljast að velja 11.000 volta línu, með 3x25 mm<sup>2</sup> eirvír, auk núltaugar, en frá aðallínunni megi leggja ódýrar einfasa hliðarlínur með núltaug til ýmissa notenda.

Reykjavík, 28. október 1943

*Ólafur Toppurason*

Til rafmagnseftirlits ríkisins,  
hr. forstjóra Jakobs Gíslasonar.



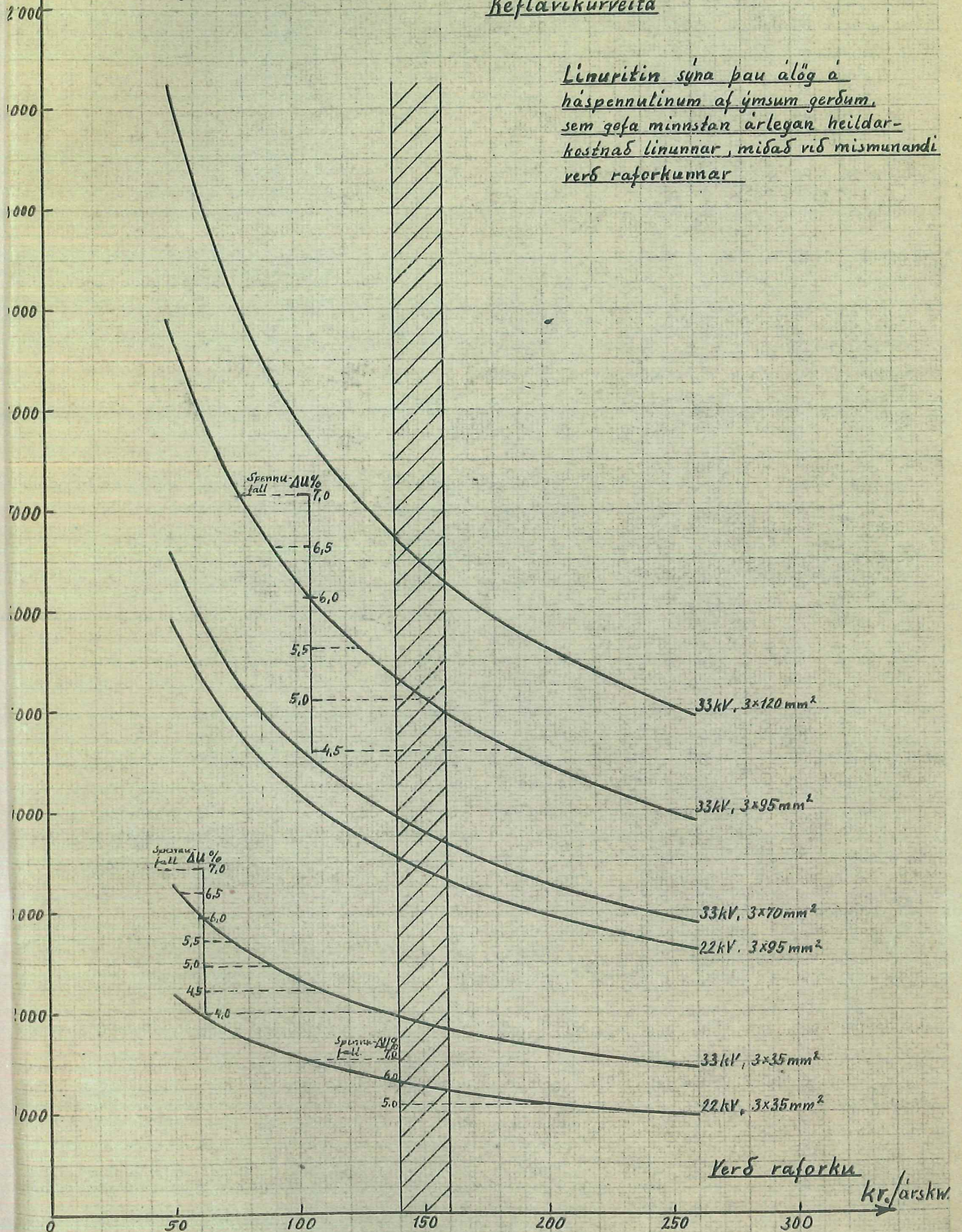
Linurit 1.

# Reykjanesveita

1. hluti:

Keflavíkurveita

kW Hagkræmasta  
mesta álag háspennulinu



Linuritinn sýna þau álag á háspennulinum af ýmsum gerðum, sem gefa minnstan árlegan heildarkostnað linunnar, miðað við mismunandi verk raforðummar

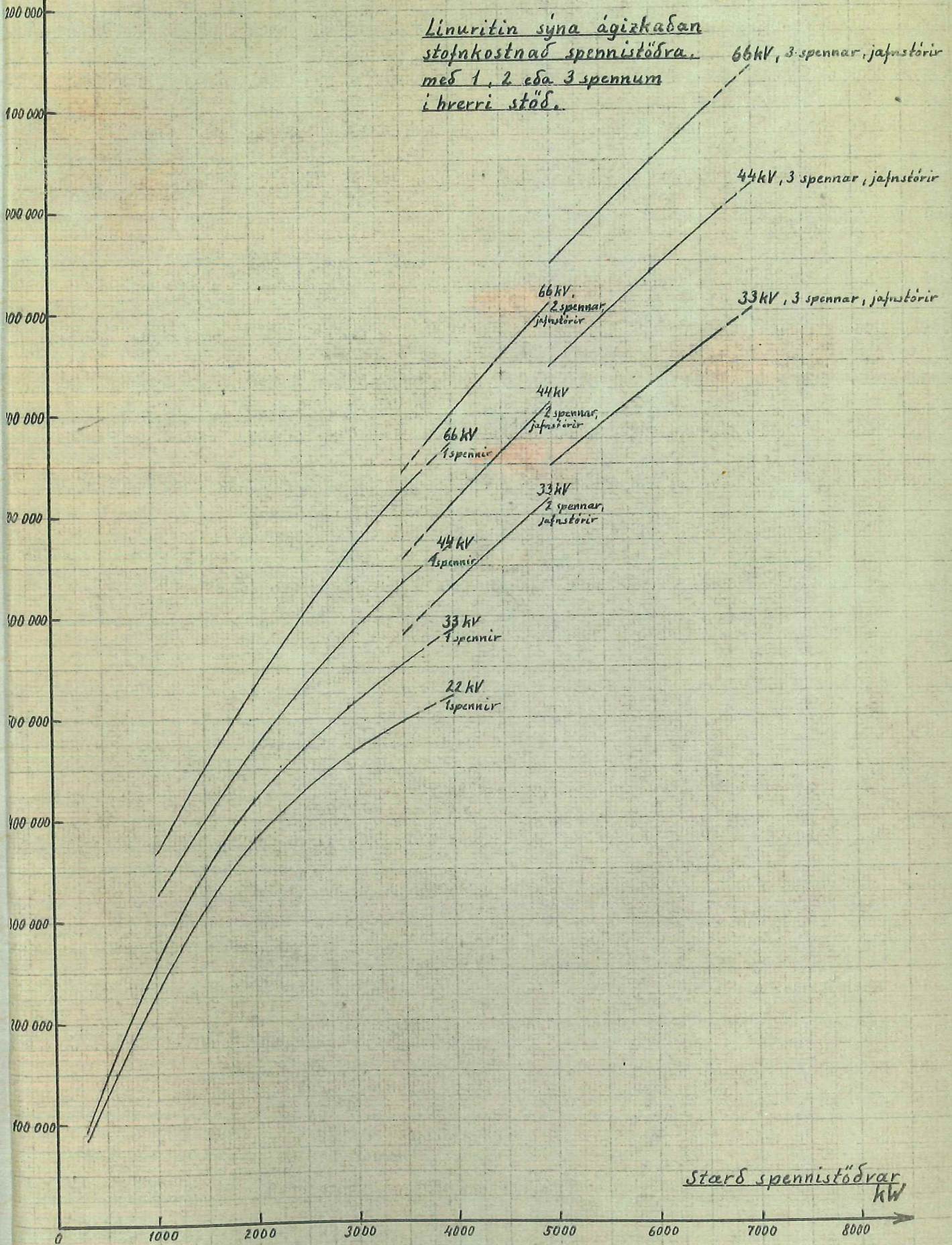
Verð raforðu  
kr./árskw



# Reykjanesveita

kr. Verð  
spennistöðvar

Linuritin sýna ágízkæðan  
stofnkostnað spennistöðva,  
með 1, 2 eða 3 spennum  
í hverri stöð.



Stærð spennistöðvar  
kW