

AÐGERÐARANNSÓKNIR
Á NÝTINGU VATNSORKU
Í TUNGNAÁ OG ÞÓRISVATNI

Eftir

Helga Sigvaldason
Gunnar Amundason
Jakob Björnsson



AÐGERÐARANNSÓKNIR
Á NÝTINGU VATNSORKU
Í TUNGNAÁ OG ÞÓRISVATNI

Eftir

Helga Sigvaldason

Gunnar Ámundason

Jakob Björnsson

Aðgerðarannsóknir á nýtingu fallvatna
á Efra-Pjórsársvæði.

Efnisyfirlit

Bls.

<u>1. Formáli</u>	I
<u>2. Undirbúningur rennslisgagna</u>	1
2.1. Inngangur	1
2.2. Niðurstöður úr regressionsreikningum	1
2.3. Útreikningar rennslis á virkjunarstöðum	3
2.4. Vatnsrennslis umreiknað í orku	3
2.5. Skolvatn vegna íss við Búrfell	4
<u>3. Aðferðir við útreikninga á orkuvinnslugetu</u>	5
3.1. Inngangur	5
3.2. Mælikvarði á orkuvinnslugetu	5
3.3. Verðmæti vatns	7
3.4. Fundið verðmæti vatns með endurtekningu	8
3.5. Eftirlíking, einfalt líkan	10
3.6. Eftirlíking, nákvæmara líkan	11
<u>4. Niðurstöður útreikninga á orkuvinnslugetu</u>	12
4.1. Inngangur	12
4.2. Áhrif ýmissa þátta á breytilegan kostnað	13
4.3. Stærð miðlana og orkuvinnslugeta	14
4.4. Niðurstöður athugana með nákvæmara líkani	16
4.5. Lokaorð	17
 <u>Viðaukar</u>	
1. Tímabil með ótrufluðum mælingum	30
2. Rennslis á virkjunarstöðum	36
3. Nákvæmara kerfislíkan	46
 <u>Töflur</u>	
I. Regressionsniðurstöður	19
II. Mælt eða reiknað meðalafrennslis árs á nokkrum svæðum m ³ /sek	20
III. Skipting rennslis á afrennslissvæði (Gl/viku)	21
 <u>Myndir:</u>	
1. Árssveifla orkunotkunar	22
2. Verðlagning orkuskorts	23
3. Jafngildislinur fyrir verðmæti vatns	24
4. Áhrif stærðar varastöðva á breytilegan kostnað	25
5. Áhrif stærðar miðlunar á breytilegan kostnað	26
6. Áhrif mismunandi forsenda um skolvatnsmagn á orkuvinnslugetu	27
7. Samband miðlunarstærðar og orkuvinnslugetu	28
8. Niðurstöður nákvæmara líkans	29
9.-13. Flæðirit, nákvæmara kerfislíkan	47

1. Formáli og heildarniðurstöður

Skýrsla sú er hér birtist fjallar um aðgerðarannsóknir á rekstri vatnsorkuvera við Sog, Búrfell og í Tungnaá (Sigöldu og Hrauneyjafoss), ásamt með miðlun í Þórisvatni; veitu úr Köldukvísl í Þórisvatn, varastöðinni við Elliðaár og gasaflsstöðinni í Straumsvík.

Tilgangur þessara aðgerðarannsókna á rekstri vatnsaflsstöðva er sá, að finna hve miklu einstakar virkjanir og miðlanir bæta við orkuvinnslugetu stöðvakerfisins, en ekki að segja til um hversu rekstri stöðvanna skuli hagað frá degi til dags. Það má einnig gera með aðgerðarannsóknum, sem eru nokkuð af öðru tagi en þær sem hér um ræðir.

Skýrsla þessi er beint framhald af annarri skýrslu, "Survey of the Hvítá and Thjorsá River Basins, Iceland. Power System Analysis", sem Noreno Foundation gerði fyrir Sameinuðu Þjóðirnar í febrúar 1967. Sú skýrsla fjallaði um yfirlitsathuganir á Hvítár-Þjórsárkerfinu í heild, og var unnin með aðgerðarannsóknum, undir stjórn prófessor V. Hveding, nú aðalforstjóra Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen, í samstarfi við tvo af höfundum þessarar skýrslu, Helga Sigvaldason og Jakob Björnsson.

Í apríl 1969 birtist bráðabirgðayfirlit yfir orkuvinnslugetu virkjana í Tungnaá eftir þeim athugunum sem þá höfðu farið fram.

Eitt af einkennum raforkukerfa á Íslandi er það, að þau fá orku sína að yfirgnæfandi hluta úr vatni, en varmaorka gegnir hjálpar- og varahlutverki. Þetta er orðið sjaldgæft í heiminum. Enda þótt vatnsaflsstöðvar séu til í flestum löndum sjá þær víðast hvar einungis fyrir litlum hluta heildarþarfarinnar. Varmaafllsstöðvar (kóla- olíu- eða kjarnorkustöðvar) sjá fyrir meginhluta orkunnar. Einungis á Norðurlöndum, sérstaklega þó í Noregi, og í sumum hlutum Kanada gegnir vatnsorka sambærilegu hlutverki og á Íslandi. Vandamál þau, er fylgja hönnun slíkra kerfa sérstaklega, hafa af þeim sökum einkum verið rannsökuð í þessum löndum, og þó fyrst og fremst í Svíþjóð og Noregi, en þau lönd munu standa fremst í þessu tilliti.

Raforkukerfi er fá mestalla orku sína úr vatnsafli einkennast af því, að orkuvinnslugetan en ekki aflíð er stærðarákvarðandi (dimensionerandi) fyrir þau. Þessu er gagnstætt farið í varmaorkukerfum. Sé nægilegt af aflvéfum til í varmaorkukerfi þarf einungis að nota meira eldsneyti til að fá meiri orku. Maðurinn hefur orkuvinnsluna á valdi sínu innan þeirra marka sem tiltækt afl setur. Í vatnsorkukerfum er "eldsneytið" þ.e. vatnið á hinn bóginn miklum sveiflum undirorpið, eftir úrkomu og veðurfari, og maðurinn hefur einungis mjög takmarkað vald yfir því.

Þessi munur er afgerandi fyrir hönnun stöðvakerfisins, og veldur því að varmaorkukerfi eru "afl-hönnuð", en vatnsorkukerfi "orkuhönnuð", sem svo er kallað.

Ákvörðun á orkuvinnslugetu mismunandi virkjunarvalkosta hefur því grundvallarþýðingu fyrir hönnun stöðvanna.

Athuganir þær, sem fjallað er um í þessari skýrslu eru fyrst og fremst gerðar til yfirlits. Þeim er ætlað að leiða í ljós aðalatriði. Til viðbótar koma svo mörg smærri atriði, sem ekki eru tekin til meðferðar hér. Sem dæmi má nefna, að í athugununum er allstaðar reiknað með tilteknu afli í einstökum stöðvum; afli, sem ætti að vera í námunda við það sem bezt er. Frávik frá þessu afli hafa vissulega í för með sér breytingar á niðurstöðum, en einungis minniháttar breytingar, svo lengi sem aflfrávikin eru ekki veruleg.

Aðgerðarannsóknirnar byggjast á reikningslegri eftirlíkingu af rekstri vatnsaflsstöðvanna. Gera þarf því stærðfræðilegt líkan af stöðvakerfinu. Ekkert líkan er fullkomlega nákvæm eftirlíking af fyrirmyndinni, og líkön geta verið misjafnlega "góð" eftir því hversu góða mynd þau gefa af fyrirmyndinni. Því ítarlegra sem líkanið er, því umfangsmeiri og tímafrekari verða reikningarnir. Valið á líkani verður því ávallt mála-miðlun.

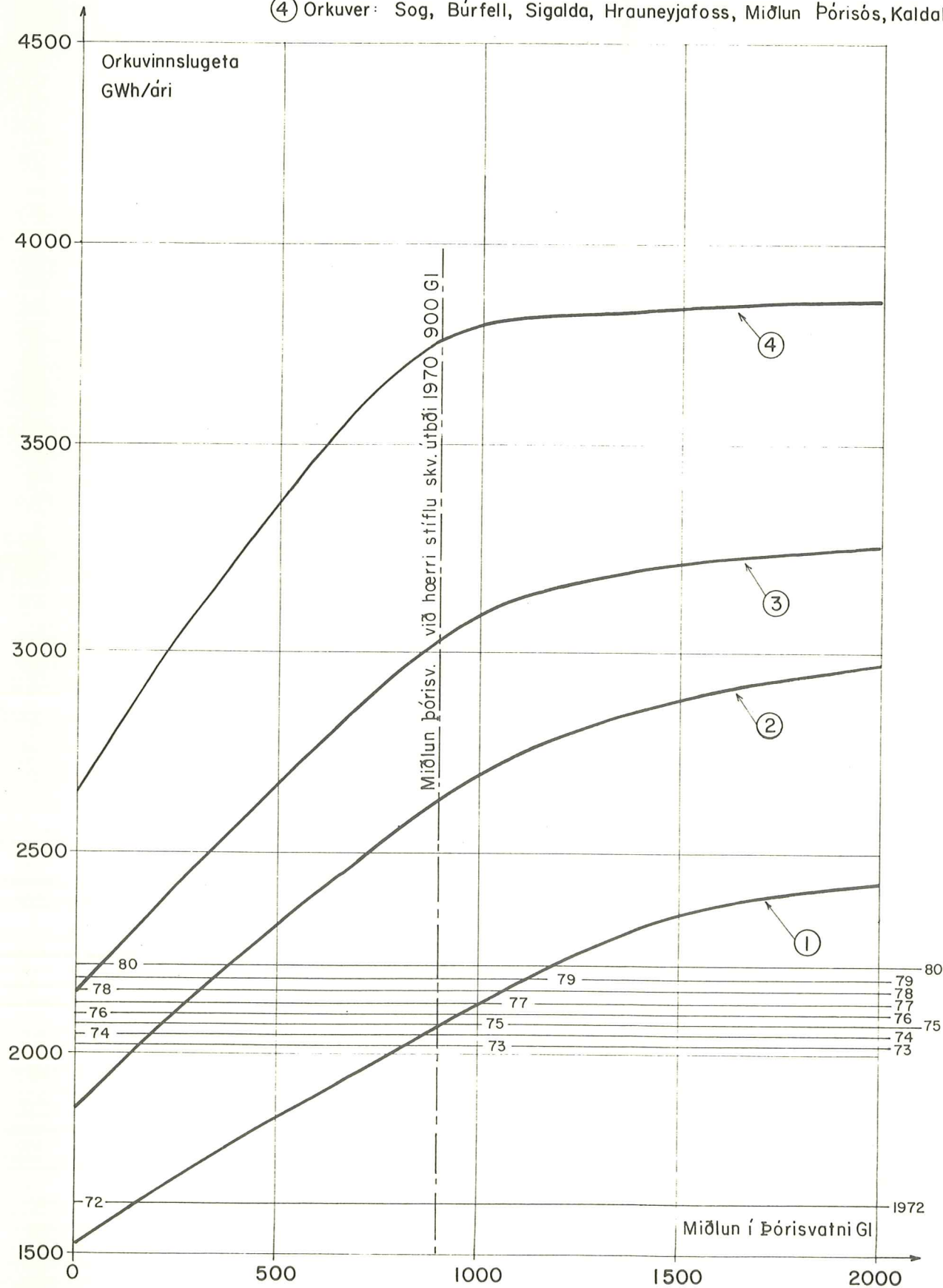
Í líkönum þeim, sem hér eru notuð og nánar er lýst í skýrslunni er ýmislegt, sem stendur til bóta að okkar dómi, og lagfæra má. Ekki hefur verið lögð vinna í það á þessu stigi málsins. Slíkar minniháttar breytingar á reikningsgrundvellingnum myndi aðeins breyta niðurstöðum óverulega; megindrættirnir yrðu eftir sem áður hinir sömu. Og í þessari athugun hefur áherzlan verið á meginatriðunum.

Niðurstöður þessara aðgerðarannsókna eru dregnar saman á línurfti því, sem fylgir þessum formála. Sýnir það á lóðrétta ásnum orkuvinnslugetu stöðvakerfisins, og á lárétta ásnum stærð miðlunar í Þórisvatni, sem er eina umtalsverða miðlunin á því kerfi sem hér er tekið til athugunar. Einstakar kúrfúr, 1 til 5 tákna svo mismunandi stig í þróun kerfisins. Inn á línuritið eru dregnar láréttar línur er sýna orkuþörfina einstök ár ef ekki koma til ný stóriðjufyrirtæki. Með samanburði milli þeirra og kúrfanna má sjá hve lengi einstök virkjunarstig geta annað þörfinni.

Vatnsorka Íslands verður ekki nýtt svo neinu nemi í nálægri framtíð nema til komi orkufrekur iðnaður. Veigamikið markmið með aðgerðarannsóknum af því tagi sem hér um ræðir er því einmitt að gera sér grein fyrir því, hvaða hugsanlegum stóriðjufyrirtækjum tiltekin virkjunarstig geti séð fyrir raforku. Á línuritinu með formála þessum er því hægra megin sýnd orkuþörf ýmissa iðnfyrirtækja sem rætt hefur verið um að koma á fót hér á landi. Orkuþörfin er sýnd í sama mælikvarða og orkuvinnslugetan á vinstri hluta línuritsins, þannig að beinn samanburður er auðveldur. Í textanum á línuritinu er nánar útskýrt hvernig slíkur samanburður verði auðveldast gerður.

SAMBAND ORKUVINNSLUGETU OG STÆRÐAR MIÐLUNAR Í ÞÓRISVATNI.
(NÁKVEMARA LÍKAN)

- ① Orkuver: Sog, Búrfell, Miðlun Þórisós, Kaldakvísl.
- ② Orkuver: Sog, Búrfell, Sultatangi, Miðlun Þórisós, Kaldakvísl.
- ③ Orkuver: Sog, Búrfell, Sigalda
- ④ Orkuver: Sog, Búrfell, Sigalda, Hrauneyjafoss, Miðlun Þórisós, Kaldakvísl.



IV

HVAÐA STÓRIÐJUFYRIRTÆKJUM GETA ORKUVERIN VIÐ
SOG, BÚRFEÐ OG TUNGNAÁ SÉÐ FYRIR RAFORKU ?

Núverandi stóriðja og almenn orkuþörf á Suðvesturlandi.

Á línuritinu hér til vinstri eru dregnar láréttar línur, merktar ártölum. Skurðpunktur þeirra við lóðrétta ásinn tákna orkuþörfina á Suðvesturlandi einstök ár fram til 1970, skv. orkuspá Orkustofnunar. Í þeirri orkuspá er auk vaxtar almennrar notkunar, Áburðarverksmiðju; Sementsverksmiðju og Keflavíkurlflugvallar, aðeins reiknað með núverandi samningum við ÍSAL, sem samsvara því, að álverksmiðjan í Straumsvík nái 77 000 t/a afköstum sumarið 1972.

Á línuritið er einnig dregin grönn lóðrétta lína, slitin. Hún sker lárétta ásinn í 900 GJ, en það er sú stærð miðlunar í Þórisvatni er samsvarar hærri stíflunni í útböi Landsvirkjunar á Þórisósstíflu nú nýlega, ef ekki lekur því meir úr vatninu við vatnsborðshækkunina. Unnt mun þó vera að stækka miðlunina umfram þessa 900 GJ síðar.

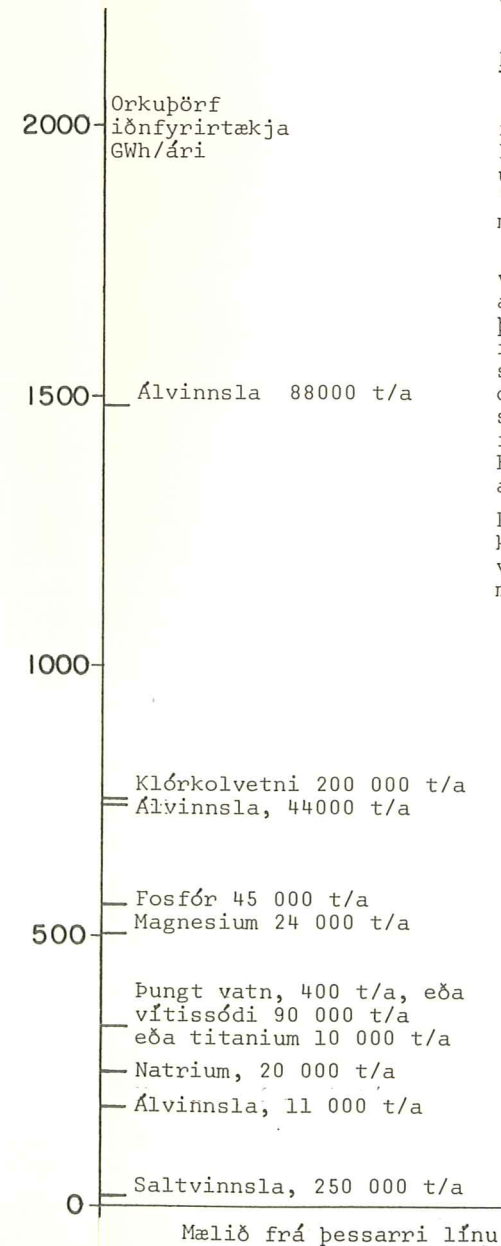
Samanburður á láréttu línunum og kúrfunum gefur til kynna hve lengi kerfið getur annað orkuþörfinni, við tiltekna miðlunarstærð. T.d. sést, að við 900 GJ miðlun geta stöðvarnar við Sog og Búrfell annað eftirspurninni fram til 1975.

Ný stóriðjufyrirtæki

Hér að neðan er sýnd á kvarða orkuþörf ýmissa stóriðjufyrirtækja, sem komið hefur til tals að ráðast í hér á landi. Flutningstöp frá orkuverum að verksmiðju eru meðtalin. Tölurnar eru að mestu byggðar á skýrslu Rannsóknaráðs ríkisins "Some Possibilities for Major New Industries in Iceland" frá maí 1969.

Orkuþörf þessara stóriðjufyrirtækja má bera saman við vinnslugetu rafstöðvakerfisins, sem sýnd er hér til vinstri á eftirfarandi hátt: Takið bilið á kvarðanum, sem tákna orkuþörfina, milli oddanna á sirkli. Leggið síðan annan odd sirkilsins á lárétta línuna með ártali þess árs sem viðkomandi stóriðjufyrirtæki er í fullum rekstri í fyrsta sinn. Efri oddur sirkilsins sýnir þá hver heildar-orkuþörfin verður sama ár, ef þetta fyrirtæki er þá komið í rekstur, og jafnframt hvernig sú þörf kemur heim og saman við vinnslugetuna. Ef um fleiri fyrirtæki en eitt er að ræða þarf sirkillinn að spanna samanlagða orkuþörf þeirra.

Dæmi: 11.000 t/a álvinnsla + 44.000 t/a álvinnsla hvorttveggja komið í fullan rekstur 1976. Heildarþörfin er þá jöfn heildarvinnslugetu Sogs, Búrfells og Sigöldu (kúrfa 3), við 900 GJ miðlun í Þórisvatni.



2. UNDIRBÚNINGUR RENNSLISGAGNA

2.1 Inngangur.

Reglubundnar vatnamælingar í Þjórsá hófust árið 1947 við Urriðafoss og í Hvítá árið 1950 við Gullfoss. Í Sogi við Ljósafoss hófust mælingar 1940. Á öðrum stöðum á vatnasviðinu hófust mælingar á árunum 1958-1960. Þessir staðir eru: Hvítá við Hvítárvatn, Kaldakvísl, fyrst við Sauðafell en síðar við Brúarfoss, Þórisós, Tungnaá við Vatnaöldur, Tungnaá við Hald og Þjórsá við Tröllkonuhlaup. Á mörgum af þessum stöðum hafa þó verið ístruflanir á vetrum, þannig að rennsli hefur verið áætlað en ekki mælt töluverðan hluta tímans. Þar sem samfelldar mælingar á þessum stöðum ná aðeins yfir örfá ár, er reynt að finna samband rennslis þar við rennsli við Urriðafoss og Gullfoss og við veðurfarsupplýsingar frá Hæli í Gnúpverjahreppi. Notuð er línuleg regression á vikurennslis og einungis notaðar mældar stærðir við gerð regressionsjafna, en hinum sleppt, sem áætlaðar eru. Vikurennslis er síðan reiknað út á þessum stöðum, eftir sambandi því, er fæst við regression, fyrir tímabilið frá sept. 1950 til þess tíma er mælingar hófust á viðkomandi stað.

Á mörgum af hugsanlegum virkjunarstöðum liggja engar mælingar fyrir, og er því tekið það ráð að reikna rennsli þar út frá rennsli á mælistöðum eftir hlutföllum vatnasviða og fleiri almennum upplýsingum.

2.2. Niðurstöður úr regressionsreikningum.

Við reikningana er vatnsárinu skipt í þrjár árstíðir:

- 1) vetur, 5.-34. vika vatnsárs eða 29. sept.- 26. apr.
- 2) vor, 35-41. vika vatnsárs eða 27. apr.-14. júní
- 3) sumar, 42.-52. og 1.-4. vika vatnsárs eða
15. júní - 28. sept.

Í viðauka 1 er tafla yfir þau tímabil, sem mælingar hafa verið ótruflaðar á hinum einstöku mælistöðum.

Fyrir mælistaði í Þjórsá og þverám hennar er notuð regressionsjafna á forminu:

$$x = A + B \times U + C \times R + E \times D$$

þar sem x er vikurennislið á þeim stað, sem verið er að fást við hverju sinni (Gl/viku).

U er vikurennisli við Urriðafoss (Gl/viku), R er rigning á Hæli (mm/viku) og D er gráðudagur yfir 0°C á Hæli. A , B , C og E eru þá stærðirnar, sem finna á. Ef lítið samband er milli x og R eða D , er þeim liðum sleppt. Notað er sem viðmiðun marktækt samband með 95% marki.

Niðurstöður eru sýndar í töflu I. Þar er einnig sýnt meðalrennisli (\bar{x}) þann tíma, sem mælingar voru í lagi, ásamt staðalfrávik rennislis (s) og staðalfrávik hins áætlaða rennislis út frá regressionsjöfnum (s_e). Fylgnistuðull (r), sem er mælikvarði á hversu gott sambandið er, er sýndur, ásamt fjölda athugana (N), sem liggur til grundvallar sambandinu.

Fyrir Þórisós er sambandið lélegt ($r \approx 0,5$) og eru notaðar jöfnurnar

$$x = 4,9 + 0,016 U - 0,017 R \text{ fyrir vetrarrennisli}$$

$$\text{og } x = -5,7 + 0,017 U - 0,027 D \text{ fyrir vor- og sumarrennisli.}$$

Fyrir Hvítá við Hvítárvatn eru notaðar jöfnurnar

$$x = 9,7 + 0,255 G + 0,55 D \text{ fyrir vetrarrennisli}$$

$$\text{og } x = -25,2 + 0,190 G \text{ fyrir vor- og sumarrennisli, þar sem } G \text{ er vikurennisli Hvítár við Gullfoss (Gl/viku)}$$

Notaðar eru tölur áætlaðar af Vatnamælingadeild Orkustofnunar fyrir tímann, sem mælingar eru truflaðar. Ein undantekning er

þó gerð, að ekki eru notaðar tölur Vatnamælingadeildar um rennsli Tungnaár við Vatnaöldur vatnsárin 1959/'60 og 1960/'61, heldur notað rennsli reiknað eftir regressionsjöfnum.

2.3 Útreikningar rennslis á virkjunarstöðum.

Rennslinu er síðan skipt niður á afrennsli ákveðinna svæða, sem máli skipta í sambandi við hugsanlegar virkjanir og miðlanir. Tafla II sýnir afrennsli 10 svæða (R1-R10) reiknað á þennan hátt, sem meðalrennsli hvers árs í m^3/sek , ásamt skýringum á, hvaða rennsli tilheyri hvaða svæði. Nánari skýringar á hvernig rennslinu er skipt niður á svæðin eru í viðauka 2, en í stórum dráttum er það gert þannig, að árinu er skipt í tvær árstíðir, vetur (1.-36. vika vatnsárs) og sumar (37.-52. vika vatnsárs) og gildir sín jafnan fyrir hvora árstíð. Tafla III sýnir jöfnur þær, er notaðar eru við skiptingu rennslis á ákveðin afrennslissvæði.

2.4 Vatnsrennsli umreiknað í orku.

Reiknað er með 90% nýtingu á orku miðað við nettófallhæð við virkjanir. Samsvarar þetta því að nettófallhæð þurfi að vera $H_n = 408$ m til þess að 1 Gl framleiði 1 GWh.

Þar sem notaðar eru einingar fyrir vatnsrennsli Gl/2 vikur, fæst orka vatnsins sem $Q = \frac{h}{408} \times R = \alpha \times R$ þar sem Q er GWh/2 vikur, h er nettófallhæð virkjunar, R er rennsli Gl/2 vikur og α er hlutfall GWh/Gl. Eftirfarandi nettófallhæðir eru lagðar til grundvallar:

Virkjun	Nettófallhæð m	α
Sogsvirkjanir		0,167
Búrfellsvirkjun	115	0,281
Sigölduvirkjun	74	0,182
Hrauneyjafossvirkjun	68,5	0,168
Sultartangavirkjun	23	0,056

Rennsli er síðan skipt í miðlað og ómiðlað rennsli og orkumagn í miðluðu rennsli reiknað sem summan af þeirri orku, er það framleiðir í öllum virkjunum, sem það fer í gegnum. Þar sem miðlunarstig (miðlunarrými deilt með meðalrennsli) Þingvallavatns er afar lágt í hlutfalli við Þórisvatnsmiðlun, er Sog reiknað ómiðlað í þessum athugunum eftir að miðlun er komin í Þórisvatn. Ennfremur er ekki reiknað með neinni miðlun við Sigöldu.

2.5 Skolvatn vegna íss við Búrfell

Ísmyndun í Þjórsá ofan Búrfells er reiknuð sem

$$Q_{is} = F \times S \times 0,00756$$

þar sem Q_{is} er ísmagn í M.tonn/viku, F er opinn flötur Þjórsár ofan Búrfells í km² og S er meðalvarmatap viku frá opnum vatnsfleti í Mcal/km² x sek eftir útreikningum Sigmundar Freysteinssonar verkfræðings út frá veðurfari á Hæli. Eftir forsögn Sigmundar er F reiknað 10,5 km² í byrjun 10. viku vatnsárs og breyting á því (ΔF) yfir hverja viku reiknað sem

$$\Delta F = 0,5815 - 0,1947 F_1 - 0,0112S + 0,0134Q$$

þar sem F_1 er opinn flötur í byrjun viku, Q er rennsli við Tröllkonuhlaup í Gl/viku.

Frádráttur á nðhæfu vatnsmagni við Búrfell er síðan reiknaður sem

$$Q_{sk} = 4,6 Q_{is} + 6N/7,$$

þar sem Q_{sk} er frádrátturinn í Gl/viku og N er fjöldi þeirra daga virkunnar, sem varmatap er póstíft. Frádrátturinn er reiknaður samkvæmt ráðleggingum yfirverkfræðings Landsvirkjunar.

3. Aðferðir við útreikninga á orkuvinnslugetu

3.1 Inngangur

Hjá fyrirtæki, sem rekur orkukerfi með vatnsorkuverum og varmaorkuverum til vara, ákveðinni samningsbundinni sölu og nokkurn veginn ákveðinni almennri sölu, eru föst útgjöld vextir og afskriftir af stofnkostnaði og nokkurn veginn föst rekstrarútgjöld við vatnsorkuver. Ef afhent er þessi ákveðna orka, eru tekjur einnig fastar. Breytileg útgjöld eru þá olfunotkun varastöðva og kostnaður í þeim tilvikum, sem ekki er hægt að standa við samninga um orkusölu og afhendingu til almennra nota. Síðari liðurinn eða kostnaður við orkuskort kemur að vísu aðeins sem bein útgjöld hvað snertir samningsbundnu orkuna en orkuskortur hjá almennum notendum kemur frekar fram sem tap frá þjóðhagslegu sjónarmiði en bein útgjöld fyrir fyrirtækið. Engu að síður má gera ráð fyrir að fyrirtækið leggi það mikla áherzlu á öryggi orkuafhendingar, að það leggi skort til jafns við veruleg fjárhagsleg útgjöld og er gengið út frá því hér. Hugsanlegar breytilegar tekjur eru einnig sala umframorku, sé markaður fyrir hendi. Þar sem rekstrarfyrirkomulag hefur aðeins áhrif á breytilega liði, er hinum föstu liðum sleppt í því, sem hér fer á eftir.

3.2 Mælikvarði á orkuvinnslugetu.

Eitt af því fyrsta, sem spurt er um í sambandi við fyrirhugaða virkjun, er, hver er orkuvinnslugeta hennar. Svar við þessari spurningu krefst allmargra forsenda til þess að eitthvert mark

sé takandi á því. Í fyrsta lagi er ekki hægt að líta á eina virkjun sem einangrað fyrirbæri og segja, að orkuvinnslugeta hennar sé einhver ákveðin tala. Svárið verður að vera, hve miklu bætir hún við orkuvinnslugetu kerfisins, sem fyrir er, þ.e. hver er mismunurinn á getu kerfisins með og án virkjunarinnar.

Í öðru lagi er orkumarkaðurinn, sem kerfið vinnur fyrir. Ganga verður út frá ákveðinni hlutfallslegri ársveiflu og skammtíma sveiflum, sem haldist óbreyttar á ákveðnu bili orkunotkunar. Í þessum athugunum er gengið út frá, að orkunotkun sé samsett úr 25% almennri notkun með ársálagsstuðli 0,5 og 75% stórnotkun með ársálagsstuðli 1,0 eða heildarálagsstuðli 0,8. Árssveifla almennrar notkunar og heildarnotkunar í einingum hálfsmánaðar-notkun/ársnotkun er sýnt á mynd 1.

Í þriðja lagi eru engin föst og óhagganleg mörk fyrir orkuvinnslugetu kerfis, þar sem vatnsrennsli er afar breytilegt frá ári til árs. Öryggissjónarmið og mat á áhættu kemur þá mjög við sögu. Hér er lagt verðmætismat á orkuskort og síðan fundið meðaltal af breytilegum útgjöldum margra ára. Þetta er eðlilegur mælikvarði, ef hægt er að fá tryggingu, sem bætir áföll vegna mikilla útgjalda í slæmum árum. Ef slíkt er ekki fyrir hendi, er vel hugsanlegt að veга meira mikil útgjöld þessara ára. Hvernig snúast ber við áhættu og meta öryggissjónarmið er viðfangsefni, sem engar aðgerðarannsóknir geta leyst fyrir stjórnendur fyrirtækis. Þær geta aðeins reynt að setja hlutina fram á einfaldan hátt og reiknað út mögulegar afleiðingar ákvarðana. Ákvarðanir um áhættu verða stjórnendurnir hins vegar að taka og þeir þurfa að gera það í aðalatriðum, þ.e. hvaða grundvallarreglum verði fylgt í rekstri, áður en í fjárfestingu er lagt, til þess að unnt sé að velja á raunhæfan hátt á milli mismunandi möguleika í fjárfestingarmálum.

Að gefnum mælikvarða á breytileg útgjöld, hvort sem hann er meðaltal margra ára eða eitthvað annað, eru takmörk orkuvinnslugetunnar, þegar útgjöld eru orðin það mikil, að sparnaður í þeim réttlætir nýja fjárfestingu. Til þess að fá einhvern fastan samanburðarmælikvarða, er hér valin sú leið að miða orkuvinnslugetu við ákveðið meðaltal árlegra útgjalda vegna varmaorkuvinnslu og orkuskorts. Þessi upphæð er valin 5 millj. kr. á verðlagi 1965. Engin útgjöld væri óraunhæft tilfelli, bæði af tölfræðilegum og hagfræðilegum ástæðum.

3.3 Verðmæti vatns

Við athugun á orkuvinnslugetu fyrirhugaðra virkjana hefur rekstrarfyrirkomulag kerfisins grundvallarþýðingu. Þýðingarmestu ákvarðanir í rekstri raforkukerfis eru um notkun vatns úr miðlunarlónum. Valið er þá hverju sinni milli þess annars vegar að spara olfu í varastöðvum og nota vatn úr miðlun og hins vegar að spara vatn í miðlun og nota olfu í varastöð, til þess að hafa vatnið tiltækt seinna vegna hættu á orkuskorti. Til þess að hægt sé að taka ákvörðun á tölulegum grundvelli, þarf að koma til mat á verðmæti vatnsins hverju sinni. Þetta verðmæti verður að sjálf-sögðu háð eftirspurn eftir rafmagni (álagi), raforkukerfinu, sem fyrir hendi er, árstíma og hversu mikið vatn er í miðlunarlónum. Að þessum atriðum gefnum ákvarðast verðmæti vatnsins af tvennu. Í fyrsta lagi af verðmætismati á því tjóni, sem orkuskortur veldur og í öðru lagi af áhættunni, þ.e. líkindum fyrir orkuskorti.

Byrjað er á því að gera einfalda mynd af kerfinu, þannig að miðlunarlón eru gerð að einu miðlunarlóni og öllu rennsli er þá skipt í miðlað og ómiðlað rennsli reiknað í orkueiningum. Orkuverum er slegið saman í eitt orkuver og gegnum það fer síðan bæði miðlað og ómiðlað rennsli.

Orkuskortur verður, ef eftirspurn er meiri en nemur summunni af notuðu vatni og vinnslugetu varastöðva. Tvær vikur eru notaðar sem tímaeining og því ekki hugsað um einstaka álagstoppa, enda má meðhöndla þá í sér athugun. Það, sem hér fer á eftir, fjallar því eingöngu um orku þá, er fá má úr vatninu en ekki um skammtíma aflskort eða skammtíma álagsskiptingu milli véla. Verðmæti orkuskorts er metið mjög hátt og vaxandi á orkueiningu línulega með magni skortsins á hverju tveggja vikna tímabili, þannig að lítill skortur er metinn 5 sinnum dýrari en sama orka framleidd í varastöð en hver viðbótareining í skorti, ef hann er orðinn 30%, er metin 10 sinnum dýrari en sama orka úr varastöð.

Á mynd 2 er sýndur verðlagningargrundvöllur þessi með einingar orku GWh/2 vikur og einingar verðs olíukostnaður við framleiðslu 1 GWh í varastöð við Elliðaár, en framleiðsla með gastúrbínum reiknuð 28% dýrari.

Endurskoðun á þessu verðmætismati orkuskorts er sjálfsögð í sambandi við samninga á orkusölu og þá er jafnframt ástæða til þess að athuga við nýja samninga, hvort möguleiki er á sölu umframorku, sem ekki er reiknað með hér. Ennfremur þarf að athuga hvaða viðurlög liggja við því, ef orku afhending verður minni en samningar kveða á um. Sökum breytileika vatnsrennslis, verður aldrei hægt að fá 100% öryggi á einhverju ákveðnu magni framleiðslu og eftir því sem meiri sveigjanleiki er mögulegur í magni orkuvinnslu, fæst hagkvæmari nýting vatnsorkunnar.

3.4 Fundið verðmæti vatns með endurtekningu.

Þar sem ákvarðanir um notkun vatns úr miðlunarlonum eru endurteknar sífellt fyrir hvert nýtt tímabil, er eðlilegt að reikna verðgildi lítillar viðbótar af vatni sem meðalgildi þess verðmætis, sem

það endanlega skapar. Meðalgildi verðmætis er þá summa margfelda líkinda á því að þetta vatn skapi ákveðin verðmæti (þ.e. forði skorti með ákveðnu verðgildi eða renni yfir úr fullri miðlun og er verðmæti þá 0) og viðkomandi verðgilda. Samkvæmt þekktu lögmáli úr líkindareikningi (lögmál hinna stóru talna) er þetta bezta viðmiðun, sé miðað við að svipaðar kringumstæður endurtaki sig mjög oft.

Æskilegast væri, að líkindalíkan af rennsli svæðisins lægi fyrir til þessarar notkunar. Í slíku líkani þyrfti að vera gert ráð fyrir sambandi rennslis á einum stað við rennsli á öðrum, tíma- tengsli rennslis og áhrif árstíma á líkindadreifingu rennslis. Þar sem enn er mjög takmarkað magn mælinga fyrir hendi, hefur ekki verið lagt út í að gera slíkt líkan.

Valin er því sú leið að nota þær rennslisraðir, sem rætt var um hér á undan, beint. Aðferðin er þá sú að gizka á verðmæti vatnsins, breytilegt eftir árstíma og hversu mikið vatn er í miðlun. Á mynd 3 er sýnt dæmi um verðmæti vatns, þar sem dregnar eru jafngildislínur fyrir verðmætið, og er það að sjálfsögðu hæst fyrri hluta vetrar en lægst á vorin, þegar rennsli er mest. Út frá slíkri ágizkun er síðan reiknað út verðmætið með endurtekningu (iteration), þannig að byrjað er fyrir ákveðið tímabil og ákveðið magn í miðlun og athugað nokkur tímabil fram í tímann, hvernig útkoman yrði með rekstrarákvörðunum eftir þessu ágizkaða verðmæti, fyrir öll þau ár, sem rennslisraðir liggja fyrir um. Yfir þessi tímabil breytist verðmætið mismunandi eftir stöðu miðlunar í lok þeirra. Meðaltalið af þessum breytingum gefur þá leiðréttingu á ágizkaða gildinu sem gengið var út frá. Þannig er reiknað fyrir nokkur stig af vatnsmagni í miðlun frá tómrri til fullrar. Þegar þessu er lokið fyrir ákveðið tímabil er tekið fyrir næsta tímabil á undan og þannig koll af kolli. Upplýsingar frá fyllingu og

tæmingu miðlunar koma þá smám saman inn sem leiðréttingar á verðmætismatinu. Slíkir síendurteknir reikningar henta mjög vel fyrir rafreikni.

3.5 Eftirlíking, einfalt líkan.

Þegar verðmæti vatns hefur verið ákveðið á þennan hátt, er hægt að líkja eftir rekstri kerfisins tímabil fyrir tímabil yfir ákveðinn árafjölda. Rafreiknir athugar þá fyrir hvert tímabil, hvort verðmæti vatns er það hátt að nota skuli varastöðvar (þ.e. herra en 1 fyrir Elliðaárstöð og herra en 1,28 fyrir gastúrbínur í þeim einingum, sem notaðar eru hér). Sé svo og vanti meiri orku en ómiðlað rennsli gefur, eru varastöðvar látnar framleiða meðan þær anna álagi. Ef verðmæti vatns er hins vegar lægra en 1, er tekið vatn úr miðlunarlóni til viðbótar ómiðluðu rennsli. Staða miðlunarlóns er síðan reiknuð fyrir lok tímabils og summað er upp notkun varastöðva, orkuskortur ef miðlunarlón tæmist, ásamt verðmæti varastöðvaálags og orkuskorts.

Við litlar miðlanir er ekki um að ræða miðlun vatns á milli ára. Sumarrennsli á Þjórsár-Hvítársvæði er það miklu meira en vetrarrennsli, að litlar miðlanir fyllast ávallt á sumrin. Við stórar miðlanir (t.d. 2.000 Gl miðlun í Þórisvatni) gegnir allt öðru máli og skiptir þá mestu máli hlutfallið milli stærðar miðlunar og magns innrennslis. Þetta hlutfall má t.d. kalla miðlunarstig og nota sem einingar hlutfall milli stærðar í Gl og meðal ársrennslis í Gl, sem er þá með víddinni ár. Sem dæmi um miðlunarstig má nefna, að 1.000 Gl miðlun í Þórisvatni með innrennsli jafnt rennsli Þórisóss hefur miðlunarstig 2,44 ár, 2.000 Gl miðlun í Þórisvatni með Köldukvíslarveitu hefur miðlunarstig 1,22 ár og Þingvallavatn með leyfilegri vatnsborðshreytingu 1,5 m, hefur miðlunarstig 0,038 ár.

Áhrif miðlana með háu miðlunarstigi koma ekki nema að litlu leyti fram við eftirlíkingu af rekstri kerfisins yfir örfá ár. Þar sem 17 ára tímabil er alltof stutt til þess að fá fram þessi áhrif, var tekið það ráð að draga úr þessum 17 árum 100 sinnum eitt ár af tilviljun og fá þannig 100 ára rennslisröð, til notkunar við eftirlíkingar reksturs. Vissulega hefur þessi aðferð sína annmarka, t.d. má reikna með því að á 100 árum komi fyrir þurrara ár en á 17 árum og mundi vera gert ráð fyrir því, ef líkindalíkan væri gert af rennsli svæðisins. Aðferðin gerir ráð fyrir að á þessum 17 árum hafi komið fyrir þær tegundir af vatnsárum, sem um sé að ræða, og rennsli sé óháð frá ári til árs.

Það, sem vinnst við aðferðina, er að áhrifin af mörgum þurrum árum í röð koma fram, og áhrif mismunandi stórra miðlana á reksturinn yfir slík árabil.

3.6 Eftirlíking, nákvæmara líkan.

Kerfislíkanið, sem rætt hefur verið um hér á undan, er að sjálf-sögðu mjög einfaldað, þar sem reiknað er með að allt miðlanlegt rennsli renni í eina miðlun og allt rennsli fari í gegnum sömu virkjun. Alvarlegustu annmarkar á líkaninu eru tveir. Í fyrsta lagi ef miðlanir eru fleiri en ein og þá sérstaklega ef þær hafa mjög mismunandi miðlunarstig, getur runnið fram hjá í einni miðlun þótt önnur sé ekki full. Í öðru lagi er ekki reiknað með takmörkunum á uppsettu afli í einfalda líkaninu. Vatn getur því farið til spillis á einum stað vegna skorts á uppsettu afli samtímis því að vatn vanti á öðrum stað. Sama gildir að sjálf-sögðu, ef ein miðlun tæmist fyrr en önnur og ekki er nægilegt afl fyrir hendi til þess að nýta vatn úr þeirri miðlun, sem vatn hefur.

Við þá útreikninga, sem hafa verið gerðir með einfalda líkaninu, hefur Sogið verið reiknað ómiðlað, þar sem miðlunarstig þess er hverfandi miðað við miðlun í Þórisvatni. Við Sigöldu hefur verið reiknað með 130 Gl miðlun en innrennsli í hana aðeins reiknað jafnt og í Þórisvatn. Til þess að fá fram t.d. betur áhrif af miðlun við Sigöldu og af mismunandi stærð á uppsettu aflfi á hverjum stað, er nauðsynlegt að gera nákvæmara líkan, sem líkir eftir rekstrinum og skiptir álagi á stöðvar.

Slíkt líkan var gert í sambandi við rannsóknir á vegum Sameinuðu Þjóðanna hér og hefur það verið endurbætt og notað til þess að athuga, hvort niðurstöður einfalda líkansins fengju staðizt. Þessu líkani er lýst í viðauka 3 og niðurstöðum þess í kafla 4.4. Aðferðin er þá sú, að nota fyrst einfalda líkanið til ákvörðunar á verðmæti vatns, líkja síðan eftir rekstri með aðsoð nákvæmara líkansins og fá þá fram nákvæmari eftirlíkingarniðurstöður.

4. NIÐURSTÖÐUR ÚTREIKNINGA Á ORKUVINNSLUGETU

4.1 Inngangur.

Allmiklir útreikningar hafa verið framkvæmdir með þeim líkönum, sem nefnd hafa verið hér á undan. Sérstaklega hafa miklir útreikningar verið framkvæmdir með einfalda líkaninu. Nokkuð af þessum útreikningum hefur verið almenn könnun á notkun líkananna og til þess að fá yfirlit yfir hagkvæmni orkuvinnslukerfisins á mismunandi stigum, en allmikill hluti útreikninga hefur verið unninn samkvæmt óskum Landsvirkjunar um athuganir á sérstökum atriðum. Ekki er ætlunin að lýsa öllum þessum niðurstöðum í smáatriðum í skýrslu þessari en reyna heldur að draga fram nokkur aðalatriði úr niðurstöðum.

Viðmiðun er meðalárskostnaður, sem er meðaltal af breytilegum útgjöldum vegna varmaorkuvinnslu og orkuskorts við eftirlíkingu

rekstrar yfir 100 ár, reiknað á verðlagi 1965. Orkuvinnslugeta kerfisins er miðuð við 5 milj. kr. meðalárskostnað.

4.2 Áhrif ýmissa þátta á breytilegan kostnað.

Á mynd 4 er sýndur samanburður á meðalárskostnaði með takmörkuðu afli varastöðva (54 MW) og ótakmörkuðu afli. Orkuver eru Sogsvirkjanir og Búrfellsvirkjun án miðlunar. Ótakmarkað afl varastöðva er í þessu tilviki jafngilt því, að orkuskortur sé verðlagður jafnt og vinnsla í varastöð. Sýnilegt er af myndinni, að stærð varastöðva (54 MW) hefur ekki veruleg áhrif á orkuvinnslugetu sé hún miðuð við lágan meðalárskostnað, hins vegar vaxa áhrifin mjög ört, sé hækkað það mark, sem orkuvinnslugetan er miðuð við. Við verulega miðlun væru áhrifin af stærð varastöðva töluvert meiri, vegna þess að í eðli sínu er tilgangur miðlunar tvíþættur, í fyrsta lagi að stuðla að hagkvæmum rekstri og í öðru lagi að veita öryggi gegn óvissu um framtíðarvatnsrennsli. Eftir því sem varastöðvar eru stærri þarf minna tillit að taka til öryggissjónarmiðanna og er þá hægt að nýta vatn miðlananna betur. Af þessu leiðir að stækkun varastöðva getur aukið orkuvinnslugetu kerfisins, þótt orkuvinnsla í þeim aukist lítið.

Á mynd 5 er sýnt samband notkunar og meðalárskostnaður fyrir mismunandi stærðir miðlunar. Virðist sú aukning á orkuvinnslugetu kerfisins, sem aukin miðlun gefur, ekki vera verulega háð því, hvaða meðalárskostnað orkuvinnslugetan er miðuð við. Þetta hefur að sjálfsögðu töluverða þýðingu, að áhrif stærðar miðlana breytist ekki mikið, þótt breytt sé skilgreiningu á orkuvinnslugetu.

Á mynd 6 eru sýnd áhrif skolvatnsmagns vegna íss við Búrfell á orkuvinnslugetu. Sýndar eru 3 kúrvur, ein fyrir orkuvinnslugetu samkvæmt formúlu fyrir skolvatnsmagn í kafla 2.5 hér á undan og tvær fyrir skolvatnsmagn samkvæmt áætlun Mr. Willey frá Harza. Áætlun Mr. Willey er á þá leið, að sé um ísskolun að ræða, sé

skolvatnsmagn á tímaeiningu föst stærð. Kúrvurnar tvær eru fyrir þetta fasta skolvatnsmagn 14 Gl/viku annars vegar og 20 Gl/viku hins vegar. Mismunur á orkuvinnslugetu við tvær síðastnefndu forsendurnar eru 40-60 GWh/ári. Sami munur er milli orkuvinnslugetu við fast skolvatnsmagn 20 Gl/viku og skolvatn samkvæmt formúlu í 2.5. En það síðastnefnda er notað í öðrum niðurstöðum hér. Þessi samanburður gefur nokkra hugmynd um stærðargráðu áhrifa af mismunandi skolvatnsmagni en reynslan ein getur skorið úr um hið raunverulega vatnsmagn, sem þarf. En sú orkuvinnslugeta, sem miðað er við í þessari skýrslu er þá miðuð við versta tilfellið af þessum þrem. Um áhrif takmarkana á uppsettu afli í vatnsorkuverunum á orkuvinnslugetuna vísast til kafla 4.4.

4.3. Stærð miðlana og orkuvinnslugetu.

Á mynd 7 eru sýndar niðurstöður um, hvernig orkuvinnslugeta, sem skilgreind hefur verið hér á undan, er háð stærð miðlana, fyrir nokkur hugsanleg virkjanastig. Hafa ber í huga þær forsendur, sem þetta samband er byggt á, sérstaklega val á meðalgildi kostnaðar, verðlagningu orkuskorts, ótakmarkað vélaafli vatnsorkuvera og val á stærð varastöðva. Líta ber því á myndina fyrst og fremst sem samanburðargrundvöll milli mismunandi orkukerfa en ekki sem endanlegar og óhagkanlegar niðurstöður.

Á myndinni koma fram nokkrir athyglisverðir eiginleikar, sem hafa almennt gildi við athuganir á áhrifum miðlana á orkuvinnslugetu.

Í fyrsta lagi er takmarkað gagn af stórrri miðlun, ef innrennsli í hana er lítið eins og kemur skýrt fram við samanburð á miðlun í Þórisvatni með og án Köldukvíslarveitu. Köldukvíslarveita eykur því mjög orkuvinnslugetu kerfisins, sé veruleg miðlun komin í Þórisvatni, þótt hún hvorki auki virkjaða fallhæð, né

stærð miðlunar. Þetta kemur einnig í ljós við samanburð á miðlun í Þórisvatni og við Norðlingaöldu. Við 2.000 GJ miðlun er takmarkað innrennsli í Þórisós og Köldukvísl farið að hafa áhrif en hins vegar er innrennslið við Norðlingaöldu ekki orðið tákmarkandi ennþá. Yfirleitt má segja að minnkunin á halla kúrvanna fyrir stórar miðlanir stafi af takmörkun á innrennsli í þær. Útlit hinna einstöku kúrva er þó bundið við samsetningu kerfisins hverju sinni, hvaða orkuver og hverjar miðlanir eru með.

Í öðru lagi sést, hversu mjög það er háð stærð miðlunar, hve miklu nýtt orkuver bætir við orkuvinnslugetu kerfisins. Sigölduvirkjun með eigin miðlun 130 GJ getur bætt við allt frá 650 GWh/ári og allt að 1.000 GWh/ári eftir því hver stærð Þórisvatnsmiðlunar er. Hrauneyjafossvirkjun eftir Sigölduvirkjun getur bætt við 500-800 GWh/ári. Þetta varpar skýru ljósi á þá staðreynd, að býsna margar forsendur þurfa að vera gefnar áður en hægt er að tileinka orkuveri ákveðna orkuvinnslugetu. Jafnframt sýnir þetta, að nauðsynlegt er að athuga orkuvinnslugetu kerfisins á mörgum mismunandi stigum í stærð kerfisins í framtíðinni áður en ákveðið mannvirki er hannað. Endanleg stærð Þórisvatnsmiðlunar þarf t.f. að ákvarðast með tilliti til áhrifa hennar á orkuvinnslugetu kerfisins með mismunandi mörgum orkuverum. Hversu mikið tillit er tekið til þessara áhrifa, hlýtur svo að fara eftir áætluðum hraða í stækkun kerfisins, vegna þess að ekki er hægt að leggja í fjárfestingu í dag vegna hagkvæmnisauka í of fjarlægri framtíð.

Á mynd 7 er einnig sýnd orkuvinnslugeta kerfisins með Sultartangavirkjun til viðbótar Sogsvirkjunum og Búrfellsvirkjun. Sú viðbót sem Sultartangavirkjun gefur við orkuvinnslugetu hvílir að nokkru leyti á forsendum um magn ískolunarvatns og er því eigi öruggari en þær forsendur. Reiknað er með, að sé Sultartangavirkjun til staðar, sé opinn vatnsflötur ofan Búrfells 5 km²,

vegna þess að stíflan við Sultartanga stöðvi ísskrið. Sé Sultartangavirkjun hins vegar ekki til staðar er reiknað með $10,5 \text{ km}^2$ opnum vatnsfleti ofan Búrfells að hausti, sem breytist síðan yfir veturinn eftir veðurfari og vatnsmagni Þjórsár.

4.4 Niðurstöður athugana með nákvæmara líkani.

Á mynd 8 eru sýndar niðurstöður nákvæmara líkans á áhrifum stærðar Þórisvatnsmiðlunar á orkuvinnslugetu kerfisins. Hér er Sog meðhöndlað ómiðlað og sömuleiðis er ekki gert ráð fyrir neinni eigin miðlun við Sultartangavirkjun. Ástæðan til þess, að svona er farið að, er einkum sú, að litlar miðlanir með lágu miðlunarstigi þ.e.a.s. hlutfallslega litlu rými miðað við innrennsli valda óeðilegum rekstrarhætti á kerfinu. Rekstrarlíkanið er fyrst og fremst gert fyrir stórar miðlanir, sem geta miðlað milli mánuða eða jafnvel ára. Tillit er tekið til eigin miðlunar Sigöldu aðeins sem viðbót við Þórisvatnsmiðlun með sama innrennsli.

Aflstöðvar eru aðgreindar og með takmörkuðu afli. Afl virkjana er sem hér segir: Búrfell $81,14 \text{ GWh}/2\text{v}$, Sogsvirkjanir $29,90 \text{ GWh}/2\text{v}$, Sigalda $45,36 \text{ GWh}/2\text{v}$, Hrauneyjafoss $45,36 \text{ GWh}/2\text{v}$ og Sultartangavirkjun $28,56 \text{ GWh}/2\text{v}$.

Við orkuvinnslu úr ómiðlanlegu rennsli er að nokkru tekið tillit til dreifingar álags innan hvers hálfsmánaðartímabils. Mesta álag er reiknað 15% hærra en meðalálag tímabilsins. Við notkun vatns úr miðlun er hafður sá háttur á, að aldrei er tekið meira úr lóni en svo, að hvergi renni framhjá neinni stöð neðan lóns vegna aflskorts. Að sjálfsögðu er vatn, sem ekki er rúm fyrir í miðlunum, nýtt til fulls, ef þess er nokkur kostur. Að öðru leyti en sem ofan greinir gilda sömu forsendur og um einfaldara líkanið, sjá kafla 4.3.

Ef niðurstöðurnar á mynd 8 eru bornar saman við niðurstöður einfaldara líkansins, kemur í ljós að halli þeirra er mun minni fyrir stóra Þórisvatnsmiðlun. Þarna er einkum afltakmörkun virkjunarinnar við Búrfell að verki. Að nokkru leyti á þetta einnig rætur sínar að rekja til þess rekstrarháttar að láta miðlanlegt vatn aldrei renna ónotað framhjá neinni aflstöð.

4.5. Lokaorð.

Hér að framan hefur verið minnst á, að æskilegast væri að líkindalíkan lægi fyrir að rennsli Þjórsár-Hvítársvæðis, þar sem rennsli á hverjum stað væri lýst með líkindadreifingu. Parametrar í líkindadreifingunum lýstu þá sambandi rennslis á einum stað við rennsli á öðrum stöðum, árstíðasveiflu rennslis og upplýsingum, sem fyrir hendi voru um grunnvatnsstöðu, snjóalög og fleira hverju sinni.

Notkun slíks líkans væri tvíþætt. Í fyrsta lagi notkun við ákvörðun verðgildis vatns. Núverandi aðferð gerir ekki ráð fyrir, að upplýsingar um grunnvatnsstöðu o.p.h. hafi áhrif á rekstur kerfisins. Þetta er að sjálfsögðu óraunhæft. Ef grunnvatnsstaða er lág, hlýtur verðgildi vatns að öðru jöfnu að vera herra en ella, vegna fyrirsjáanlegs lágrennslis á næstunni. Þetta hefur þau áhrif að minna væri notað af vatni úr miðlunum en annars væri. Verðgildi vatnsins verður með þessu móti traustari grundvöllur fyrir eftirlíkingu reksturs og einnig verður það nothæfara sem viðmiðunargrundvöllur í raunverulegum rekstri.

Í öðru lagi má nota líkindalíkan til þess að búa til langar rennslisraðir fyrir eftirlíkingar reksturs, sem endurspegluðu betur eiginleika svæðisins en sú aðferð, sem notuð er núna að nota sífellt sömu vatnsárin, aðeins röðuð saman á tilviljana-kenndan hátt.

Nokkrir gallar hafa komið fram á nákvæmara eftirlíkingarlíkaninu, sem endurbæta þarf sem fyrst. Í fyrsta lagi er skipting notaðs vatns á hverju tímabili, þar sem tekið er aðeins úr einni miðlun á meðan hún endist, alltof gróf fyrir litlar miðlanir, þær tæmast og fyllast á víxl. Þetta má bæta með því að dreifa vatnsnotkun hvers tímabils á allar miðlanir. Tekið yrði þá tillit til við skiptinguna, hversu mikið væri í hverri miðlun hlutfallslega (fyllingarstig) og hversu stór hún væri í hlutfalli við innrennsli (miðlunarstig). Eftir því sem meira væri í miðluninni, væri meira notað úr henni. Eftir því sem innrennsli, væri meira í hlutfalli við stærð (miðlunarstig minna), væri meira notað úr henni.

Í öðru lagi er galli, sem ekki er eins alvarlegur, en hann er sá, að aldrei er notað meira vatn úr miðlun (sé hún ekki full) en hægt er að nýta í því orkuveri neðan hennar, sem minnst uppsett afl hefur. Hugsanlegt er, að þegar verðgildi vatnsins er mjög lágt, mætti nota meira vatn, þótt það rynni framhjá í einu orkuveri.

Af framangreindum dæmum er ljóst, að margt má endurbæta í þeim líkönum sem notuð hafa verið. Engu að síður er hér um að ræða tæki, sem nýta má til gagns, ef ætíð eru hafðar í huga þær takmarkanir, sem ófullkomnar forsendur setja hverju sinni. Aðferðirnar verða seint stærðfræðilega fullkomnar, t.d. er skipting vatnsnotkunar milli miðlana viðfangsefni, sem á núverandi stigi er ekki fyrir hendi ákveðin lausn á.

Skammtímaákvæðanir um álagsskiptingu á orkuver og einstakar vélar er viðfangsefni, sem ekki hefur verið fengizt við í skýrslu þessari en getur engu að síður skipt töluverðu máli í daglegum rekstri.

T a f l a I Regressionsniðurstöður

Staður	Ars- tími	Konst. A	Urr. B	rign. C	D	N fjöldi ath.	x Gl/viku meðal- rennslis	S Staðal- frávik rennslis	Se Staðalfrá- vik eftir regr.	r
Tröllk.hl.	vetur	10.96	0.689	- 0.125	0.551	150	127.3	53.8	12.8	0.972
	vor	10.17	0.724		0.631	35	248.5	102.1	12.1	0.993
	Sumar	- 1.03	0.8612	- 0.232	0.342	85	214.9	48.8	6.3	0.992
Hald	vetur	13.90	0.393	- 0.278	0.382	75	93.6	33.9	13.5	0.921
	vor	46.79	0.262	0.337		48	130.0	37.8	13.4	0.938
	sumar	12.93	0.440			84	113.8	24.4	9.7	0.918
Vatnaöldur	vetur	8.9	0.222			63	50.9	25.3	14.1	0.836
	vor	11.7	0.204			45	72.2	27.7	15.0	0.848
	sumar	9.1	0.212			57	57.6	13.0	8.3	0.772
Kaldakvísl ofan Þóris- óss	vetur	7.7	0.059			35	18.5	8.7	6.9	0.619
	vor	3.4	0.099	- 0.168		24	31.1	16.7	6.1	0.936
	sumar	- 7.3	0.161			38	30.4	11.8	7.4	0.783

T A F L A II

Mælt eða reiknað meðalafrennsli árs á nokkrum
svæðum, m³/sek

AR	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
1950	15.5	71.1	35.0	12.6	75.9	22.1	16.6	54.4	29.5	92.0
1951	19.2	82.1	39.7	13.0	92.7	26.9	18.1	69.1	46.6	96.3
1952	20.9	91.7	43.0	13.5	103.6	30.7	21.3	80.9	59.3	101.3
1953	22.6	99.4	46.5	14.1	114.0	34.0	22.8	88.3	67.7	124.4
1954	20.4	85.9	44.7	13.6	99.4	28.9	21.1	70.2	48.0	105.1
1955	18.8	84.9	39.6	13.2	91.7	27.3	22.6	68.8	45.0	112.6
1956	20.8	90.4	42.0	13.4	101.5	30.0	21.6	70.8	47.2	116.9
1957	18.4	82.3	39.5	12.9	89.0	26.3	18.9	60.9	35.8	101.7
1958	24.0	103.2	49.8	15.7	119.6	35.5	25.7	83.9	62.8	114.8
1959	21.6	99.2	46.5	16.9	111.5	33.8	25.2	83.0	47.1	116.9
1960	19.4	89.7	39.0	15.2	99.4	29.9	20.5	69.0	40.1	102.6
1961	16.3	77.2	32.1	14.3	82.1	24.4	47.7	65.1	40.9	101.3
1962	18.2	80.1	38.0	13.0	90.6	26.8	31.7	65.2	47.0	97.8
1963	17.2	84.9	24.4	13.4	81.9	24.0	38.7	63.2	47.7	102.5
1964	14.8	70.9	35.5	9.8	85.4	25.6	33.6	57.4	34.9	94.6
1965	19.9	78.1	33.5	8.9	82.6	24.1	27.2	58.6	30.1	93.0
1966	18.2	77.7	33.9	9.4	83.7	23.9	17.8	60.4	35.8	92.6
Meðal	19.2	86.1	38.9	13.0	94.3	27.8	25.2	68.8	45.0	104.0

R1: Innrennsli við Lauffit

R2: Innrennsli milli Lauffitar og Tungnaárkróks

R3: Rennsli Köldukvíslar ofan Þórisóss

R4: Rennsli Þórisóss

R5: Rennsli Þjórsár við Norðlingaöldu

R6: Innrennsli milli Norðlingaöldu og Dynks

R7: Innrennsli ofan BúrfelÐ, en neðan Dynks, Þórisóss og T. króks

R8: Innrennsli í Hvítárvatn

R9: Innrennsli milli Gullfoss og Hvítárvatns

R10: Innrennsli í Þingvallavatn

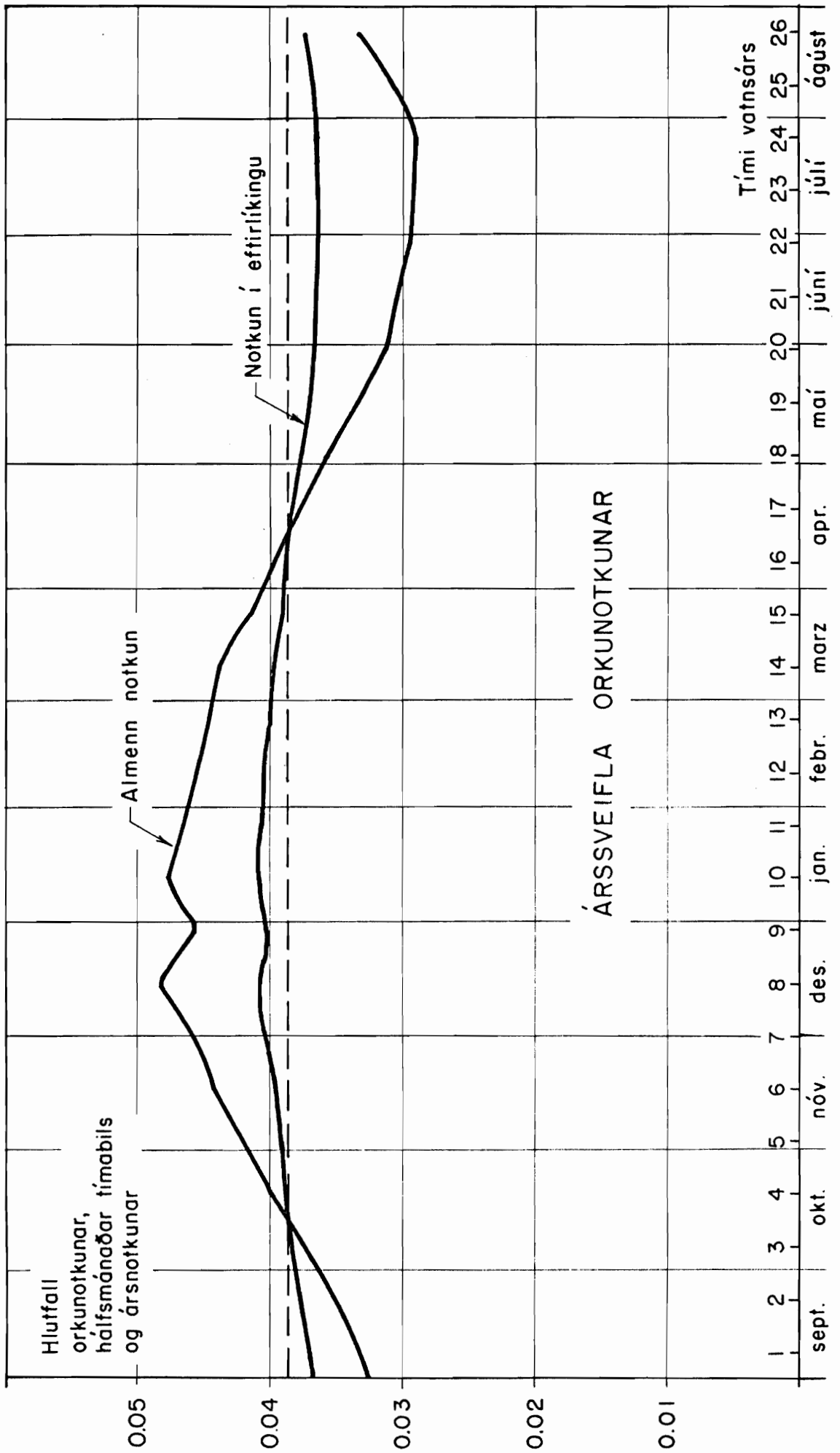
Tafla III. Skipting rennslis á afrennslissvæði (Gl/viku)

Svæði	Sumar	Vetur
Rennsli við Lauffit	R1 = 0,38 (V-9,0)	R1 = 0,17 (V-9,0)
Innrennsli milli Lauffitar og Tungnaárkróks	R2 = 0,70 (V-9,0) + 11,0	R2 = 1,01 (V-9,0) + 11,0
Rennsli Þjórsár við Norðl. öldu	R5 = 0,75 (T-H)	R5 = 0,66 (T-H)
Innrennsli milli Norðl. öldu og Dynks	R6 = 0,18 (T-H)	R6 = 0,24 (T-H)
Innrennsli ofan Búrfells en neðan Dynks, Þórisóss og Tungnaárkr.	R7 = T -(1,18(V-9,0)+0,90(T-H) + Þ + K + 11,0)	R7 = T-(1,08(V-9,0)+0,93(T-H) + Þ + K + 11,0)
Innrennsli í Hvítárvatnsmiðlun	R8 = 0,3G + 0,7 HV	R8 = 0,3G + 0,7 HV
Innrennsli milli Gullfoss og Hvítárvatns- miðlunar	R9 = 0,7G - 0,7 HV	R9 = 0,7G - 0,7 HV

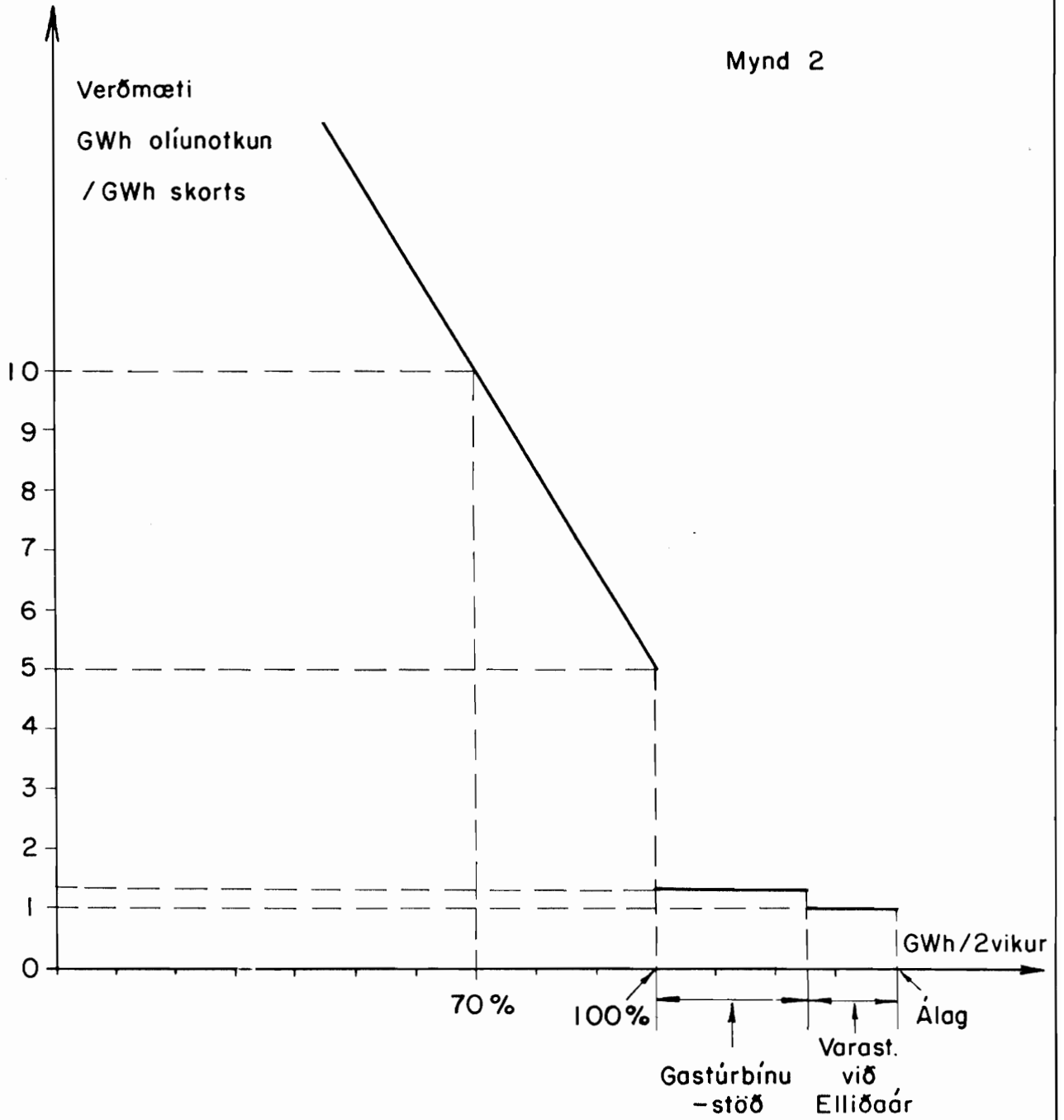
Skýringar:

- V: rennsli Tungnaár við Vatnaöldur
- T: rennsli Þjórsár við Tröllkonuhlaup
- H: rennsli Tungnaár við Hald
- Þ: rennsli Þórisóss
- K: rennsli Köldukvíslar ofan Þórisóss
- G: rennsli Hvítár við Gullfoss
- HV: rennsli Hvítár út Hvítárvatni

Mynd I

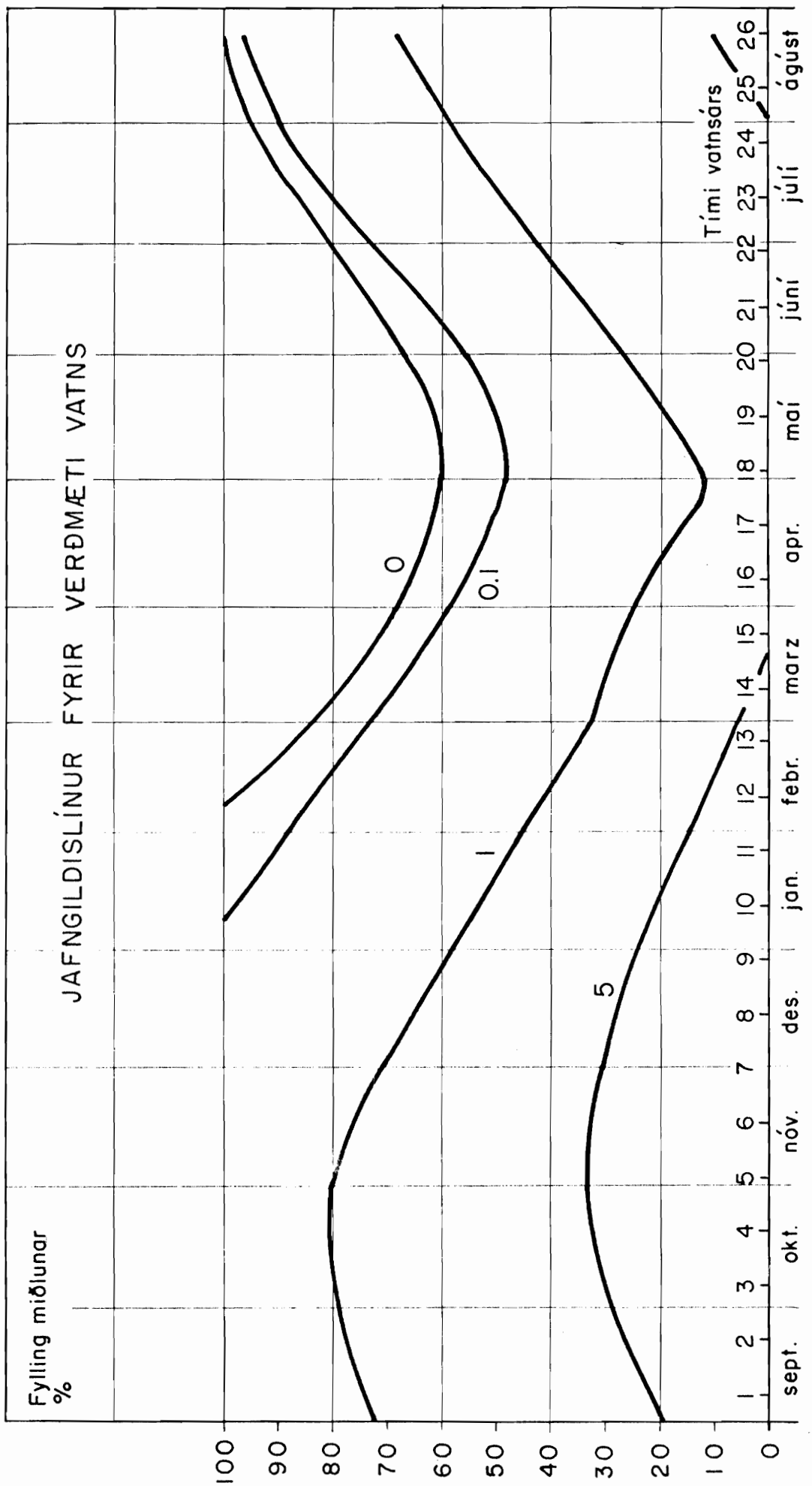


Mynd 2



VERÐLAGNING ORKUSKORTS

Mynd 3



ÁHRIF STÆRÐAR VARASTÖÐVA Á BREYTILEGAN KOSTNAÐ

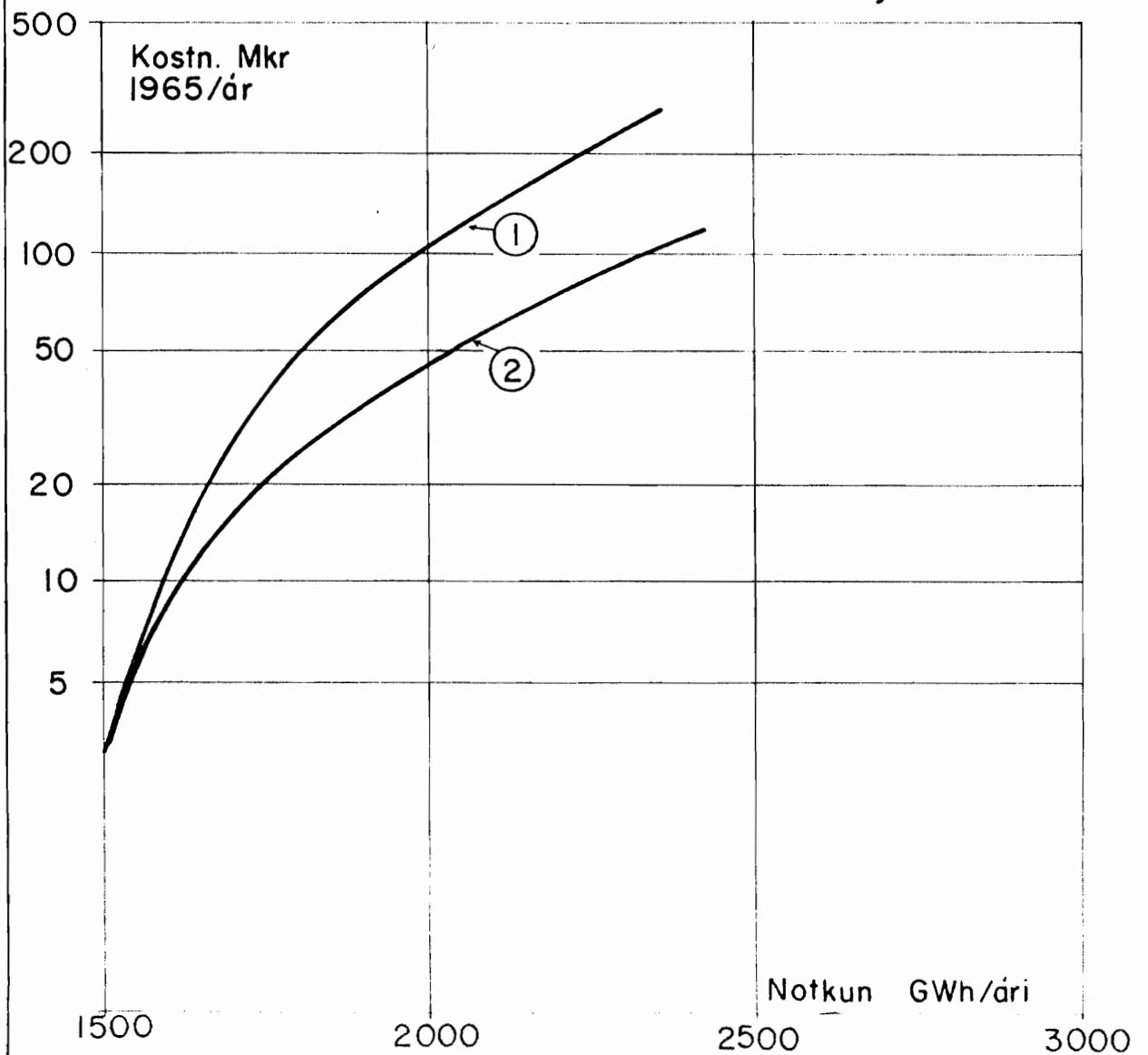
Orkuver: Sog, Búrfell (uppsett afl ótakm.)

Miðlun: Þingvallavatn 20 GWh

① Varastöðvar 54 MW

② Varastöðvar ótakmarkaðar

Mynd 4



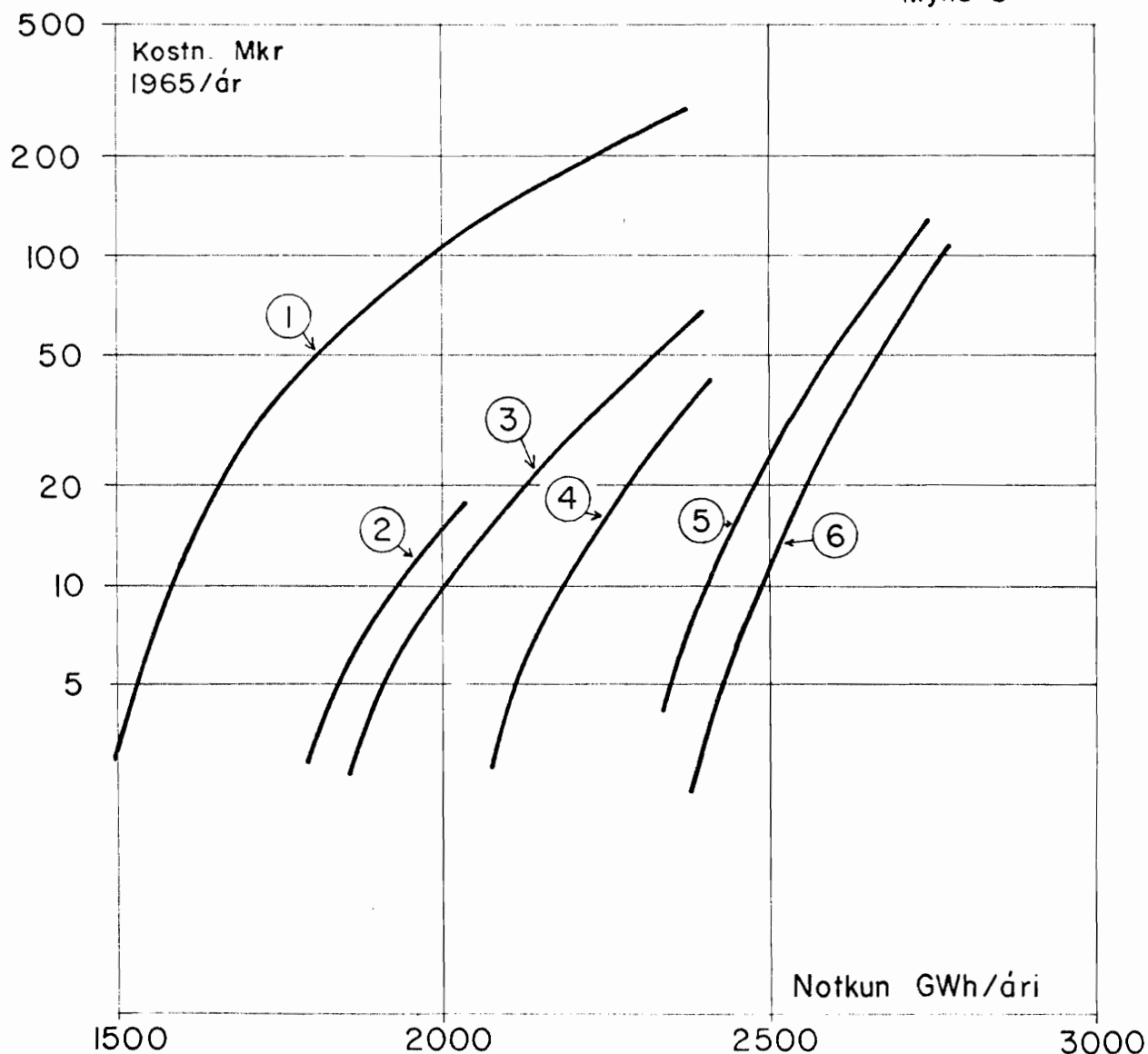
ÁHRIF STÆRÐAR ÞÓRISVATNSMIÐLUNAR (MEÐ KÖLDUKVÍSL) Á BREYTILEGAN KOSTNAÐ

Orkuver: Sog, Búrfell (uppsett afl ótakm.)

Varastöðvar: 54 MW

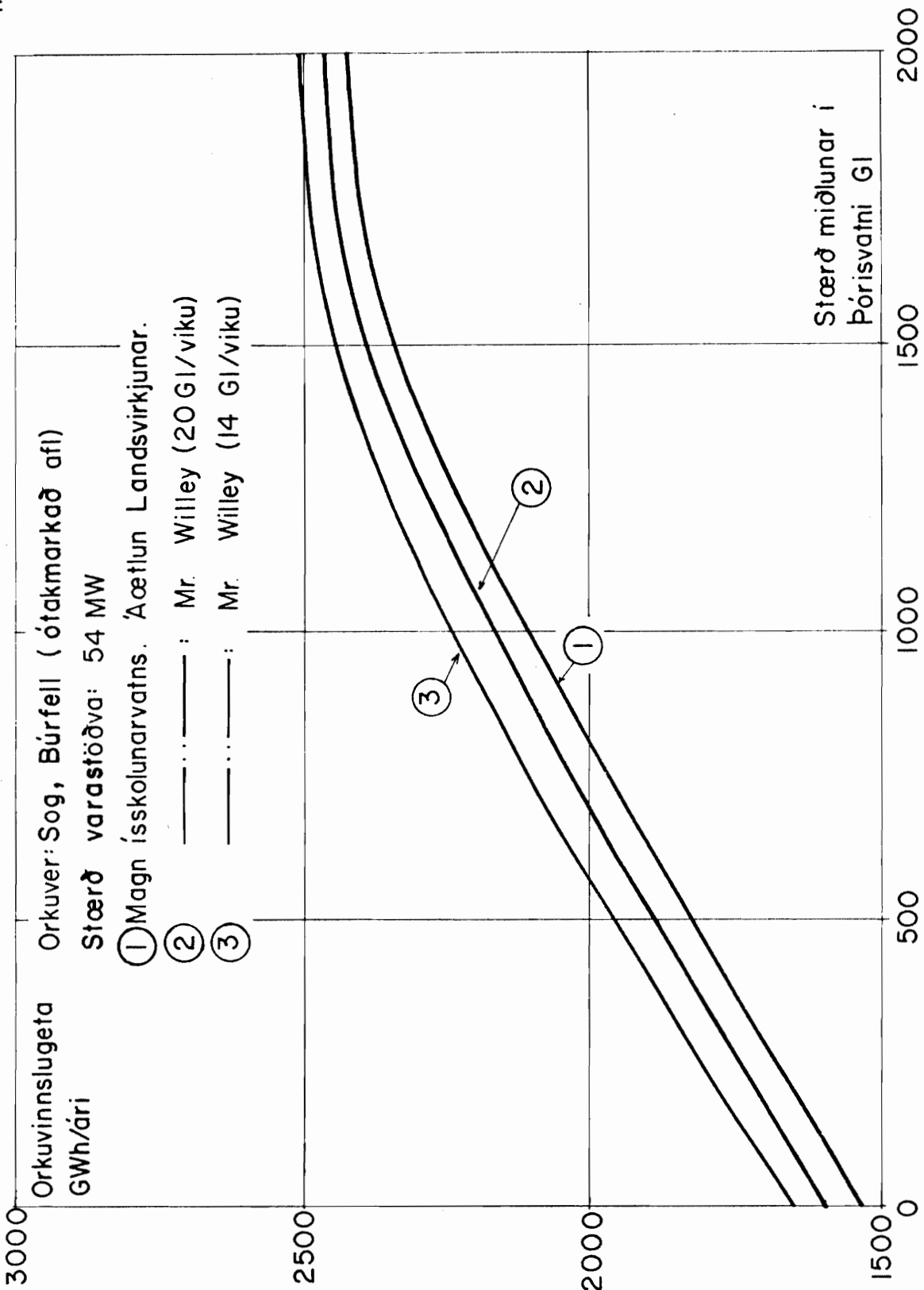
- ① Engin miðlun í Þórisvatni (m / Köldukv.)
- ② 500 GI — · · —
- ③ 650 GI — · · —
- ④ 1000 GI — · · —
- ⑤ 1500 GI — · · —
- ⑥ 2000 GI — · · —

Mynd 5



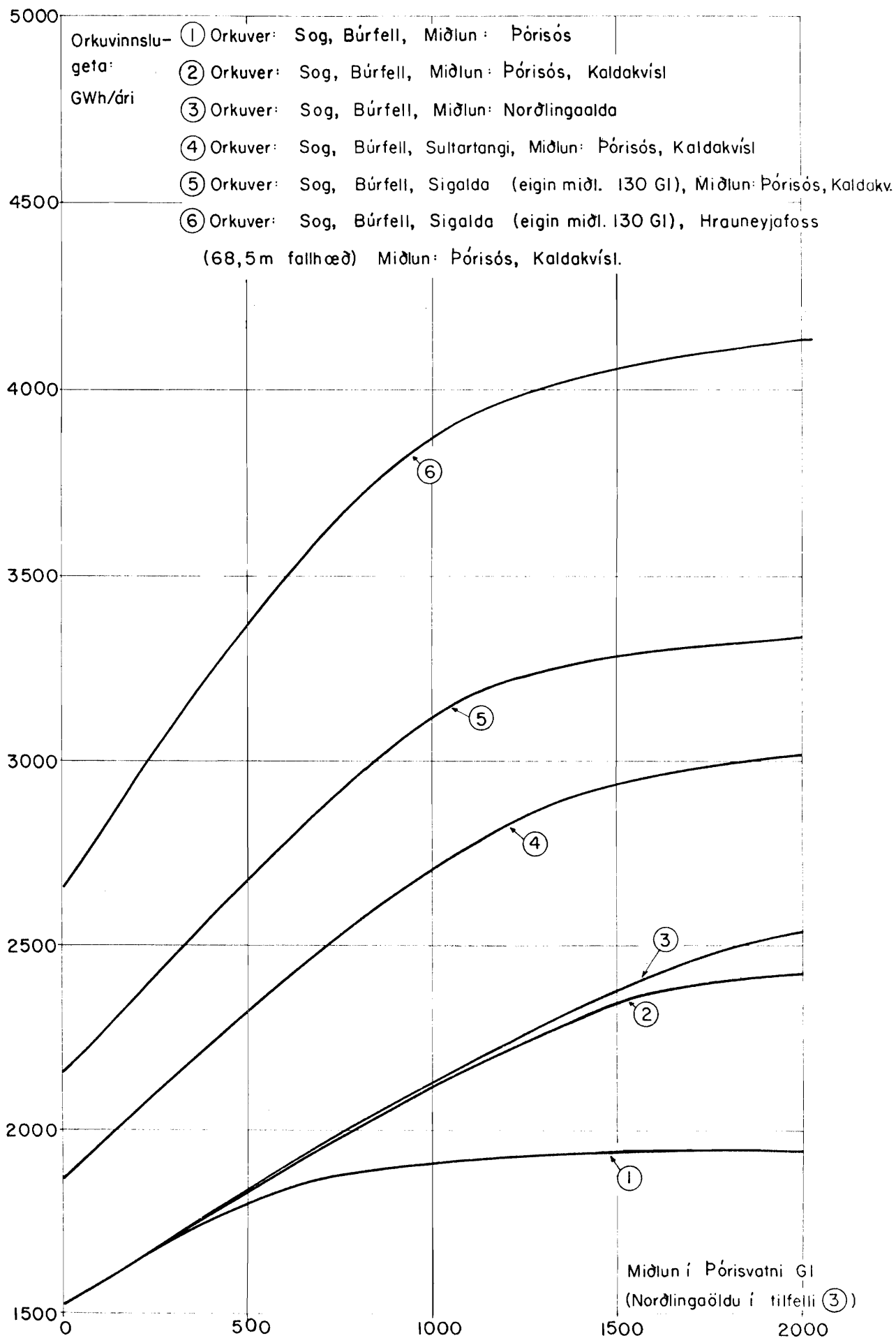
ÁHRIF MIISMUNANDI FORSEDA UM ÍSSKOLUN Á ORKUVINNSLUGETU.

Mynd 6



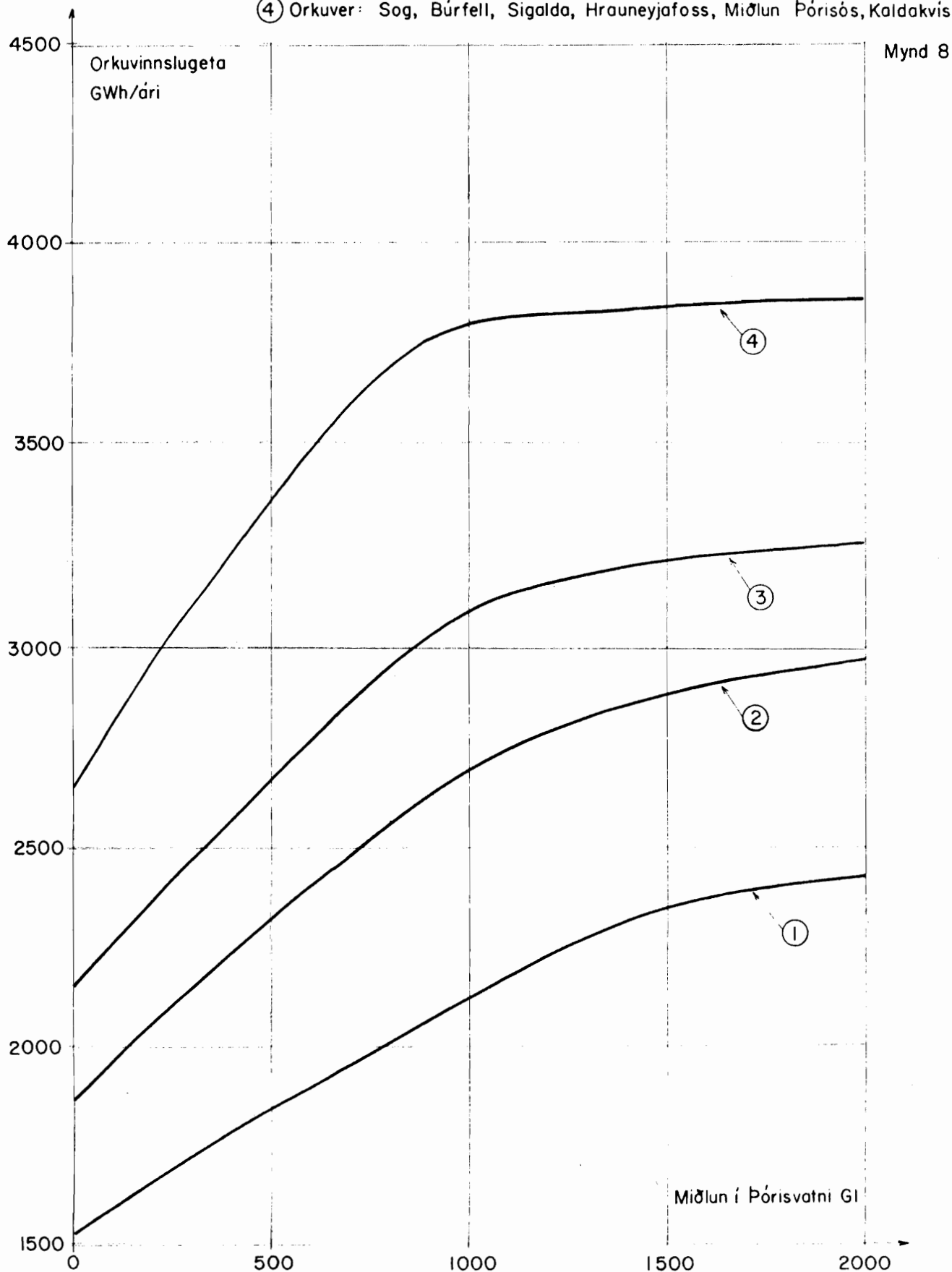
SAMBAND ORKUVINNSLUGETU OG STÆRÐAR MIÐLUNAR.
(EINFALT LÍKAN, P. E. ÓTAKMARKAÐ AFL)

Mynd 7



SAMBAND ORKUVINNSLUGETU OG STÆRÐAR MIÐLUNAR Í ÞÓRISVATNI.
(NÁKVEMARA LÍKAN)

- ① Orkuver: Sog, Búrfell, Miðlun Þórisós, Kaldakvísl.
 ② Orkuver: Sog, Búrfell, Sultatangi, Miðlun Þórisós, Kaldakvísl.
 ③ Orkuver: Sog, Búrfell, Sigalda
 ④ Orkuver: Sog, Búrfell, Sigalda, Hrauneyjafoss, Miðlun Þórisós, Kaldakvísl.



Viðauki 1.Tímabil með ótrufluðum mælingum.Þjórská við Tröllkonuhlaup.Vatnsárið 1959/60

27. nóv. - 1. jan.
 8. jan. - 11. jan.
 19. jan. - 27. jan.
 16. febr. - 19. febr.
 5. apríl - 29. apr.
 19. maí - 31. ág.

Vatnsárið 1960/61

1. sept. - 10. des.
 17. jan. - 14. febr.
 14. júní - 31. ágúst

Vatnsárið 1961/62

1. sept. - 28. nóv.
 10. des. - 31. des.
 8. apr. - 31. ág.

Vatnsárið 1962/63

1. sept. - 30. des.
 19. jan. - 25. jan.
 3. febr. - 5. febr.
 13. febr. - 9. apr.
 13. apr. - 31. júlí

Vatnsárið 1963/64

1. sept. - 16. nóv.
 26. nóv. - 26. febr.
 18. marz - 31. ág.

Vatnsárið 1964/65

1. sept. - 7. des.
 11. des. - 13. des.
 18. des. - 31. des.
 18. jan. - 31. ág.

Vatnsárið 1965/66

1. sept. - 31. des.
 6. jan. - 8. jan.
 25. febr. - 22. marz
 7. apr. - 7. maí
 14. maí - 31. ág.

Vatnsárið 1966/67

1. sept. - 23. des.
7. jan. - 25. marz
8. apr. - 31. ág.

Vatnsárið 1967/68

1. sept. - 3. jan.
15. jan. - 2. febr.
10. febr. - 13. febr.
1. marz - 25. marz
5. apr. - 31. ág.

Tungnaá við HaldVatnsárið 1960-61

24. nóv. - 19. des.
13. jan. - 4. febr.
22. febr. - 31. marz
9. apr. - 13. apr.
15. apr. - 16. apr.
20. apr. - 31. ág.

Vatnsárið 1961/62

1. sept. - 3. des.
5. apr. - 6. apr.
15. apr. - 31. ág.

Vatnsárið 1962/63

1. sept. - 29. okt.
7. nóv. - 13. des.
30. des. - 4. jan.
19. jan. - 30. jan.
15. febr. - 27. febr.
5. marz - 9. apr.
20. apr. - 31. ág.

Vatnsárið 1963/64

1. sept. - 6. nóv.
28. nóv. - 24. des.
18. jan. - 31. ág.

Vatnsárið 1964/65

1. sept. - 25. okt.
 29. okt. - 16. nóv.
 20. nóv. - 1. des.
 19. des. - 24. des.
 29. jan. - 9. marz
 29. marz - 31. ág.

Vatnsárið 1965/66

1. sept. - 15. nóv.
 8. apr. - 31. ág.

Vatnsárið 1966/67

1. sept. - 29. nóv.
 16. des. - 25. des.
 6. jan. - 9. jan.
 14. jan. - 24. jan.
 29. jan. - 12. febr.
 9. apr. - 31. ág.

Vatnsárið 1967/68

1. sept. - 3. nóv.
 10. nóv. - 13. nóv.
 18. nóv. - 5. des.
 21. des. - 25. des.
 16. maí - 27. maí
 2. júní - 31. ág.

Tungnaá við VatnaöldurVatnsárið 1960/61

1. sept. - 18. des.
 21. jan. - 6. marz
 17. marz - 29. marz
 6. apr. - 31. ág.

Vatnsárið 1961/62

1. sept. - 26. nóv.
 15. apr. - 31. ág.

Vatnsárið 1962/63

1. sept. - 30. okt.
 14. nóv. - 15. nóv.
 26. nóv. - 28. nóv.
 18. marz - 26. maí

<u>Vatnsárið 1963/64</u>	18. marz - 20. apr. 1. maí - 31. ág.
<u>Vatnsárið 1964/65</u>	1. sept.- 7. okt. 7. nóv. - 30. nóv. 3. febr.- 22. marz 30. marz - 12. ág.
<u>Vatnsárið 1965/66</u>	15. sept. - 24. nóv. 13. maí - 5. júlí
<u>Vatnsárið 1966/67</u>	1. sept. - 28. nóv. 7. febr. - 8. febr. 11. marz - 21. marz 9. marz - 27. maí 28. júní - 12. ág.
<u>Vatnsárið 1967/68</u>	4. sept. - 15. sept. 19. sept. - 24. sept. 26. sept. - 29. sept. 3. okt. - 1. nóv. 10. nóv. - 11. nóv. 20. maí - 31. ág.
<u>Þórisós við Vað</u>	
<u>Vatnsárið 1957/58</u>	15. júní - 31. ág.
<u>Vatnsárið 1958/59</u>	1. sept. - 8. des. 19. apr. - 31. ág.
<u>Vatnsárið 1959/60</u>	1. sept. - 9. nóv. 18. marz - 31. ág.
<u>Vatnsárið 1960/61</u>	1. sept. - 10. okt. 9. apr. - 11. apr. 22. apr. - 31. ág.

<u>Vatnsárið 1961/62</u>	1. sept. - 16. okt. 3. maí - 31. ág.
<u>Vatnsárið 1962/63</u>	1. sept. - 23. okt. 5. apr. - 8. apr. 26. maí - 31. ág.
<u>Vatnsárið 1963/64</u>	1. sept. - 4. sept. 6. júlí - 24. júlí
<u>Vatnsárið 1964/65</u>	26. sept. - 6. des. 19. des. - 23. des. 2. febr. - 2. marz 31. marz - 31. ág.
<u>Vatnsárið 1965/66</u>	1. sept. - 19. nóv. 22. apr. - 31. ág.
<u>Vatnsárið 1966/67</u>	1. sept. - 31. ág.
<u>Vatnsárið 1967/68</u>	1. sept. - 31. ág.
<u>Kaldakvísl við Sauðafell</u>	
<u>Vatnsárið 1958/59</u>	11. maí - 31. ág.
<u>Vatnsárið 1959/60</u>	1. sept. - 26. nóv. 18. júní - 31. ág.
<u>Vatnsárið 1960/61</u>	1. sept. - 24. okt. 25. apr. - 31. ág.
<u>Vatnsárið 1961/62</u>	1. sept. - 23. okt. 16. apr. - 17. apr. 30. apr. - 1. maí 5. júní - 6. júní 15. júní - 31. ág.

Vatnsárið 1962/63

1. sept.	-	25. okt.
11. nóv.	-	16. nóv.
5. apr.	-	9. apr.
27. maí	-	31. ág.

Vatnsárið 1963/64

1. sept.	-	6. nóv.
3. maí	-	31. ág.

Kaldakvísl við BrúarfossVatnsárið 1964/65

12. sept.	-	15. nóv.
5. jan.	-	12. jan.
31. marz	-	31. ág.

Vatnsárið 1965/66

1. sept.	-	16. nóv.
14. febr.	-	22. febr.
29. marz	-	31. ág.

Vatnsárið 1966/67

1. sept.	-	30. nóv.
3. des.	-	22. des.
6. jan.	-	26. jan.
17. febr.	-	18. febr.
7. apr.	-	31. ág.

Vatnsárið 1967/68

1. sept.	-	18. marz
9. apr.	-	10. apr.
30. júní	-	1. ág.

Viðauki 2. Rennsli á virkjunarstöðumInnrennsli að Lauffit R_1 :

Gengið er út frá rennsli Tungnaár við Vatnaöldur. Frá því rennsli eru dregnir 9,0 Gl/viku, sem er áætlað "konstant"-rennsli af Veiðivatnasvæði og hefur því allt aðra eiginleika en Tungnaá sjálf. Þegar þessi lindarþáttur hefur verið dreginn frá er áfgangnum skipt í hlutfalli við stærð vatnasviða.

Vetur:

$$R_1 = (Va-9.0) \cdot \alpha_{Lj1} \quad \text{Gl/viku}$$

$$\alpha_{Lj1} = \frac{\text{vatnasvið v. Lauffit, án jökuls}}{\text{vatnasvið v. Vatnaöld., án jökuls}} = \frac{194 \text{ km}^2}{1122 \text{ km}^2} =$$

$$\alpha_{Lj1} = 0.173$$

$$R_1 = f_1 \cdot (Va-9.0) \quad \text{Gl/viku} =$$

$$= 0.17 (Va-9.0) \text{ Gl/viku}$$

$$\underline{\underline{f_1 = 0.17}}$$

Sumar: Að sumri er reiknað með að 25% af (Va-9.0) komi ofan frá Vatnajökli. Jökulþátturinn skoðast sameiginlegur rennslinu við Lauffit og (Va-9.0). Það sem þá er eftir eða 75% af (Va-9.0) reiknast í hlutfalli við stærð vatnasviða án jökuls.

$$R_1 = 0.25(Va-9.0) + 0.75 (Va-9.0) \cdot \alpha_{Lj1} \quad \text{Gl/viku.}$$

$$\text{með } \alpha_{Lj1} = 0.17 \text{ fæst}$$

$$\underline{\underline{R_1 = 0.38 (Va-9.0) \text{ Gl/viku} = f_1 (Va-9.0) \text{ Gl/viku.}}}$$

Lauffit:

Vetur	f_1	=	0.17
sumar	f_1	=	0.38

Innrennsli milli Lauffitar og Tungnaárkróks R_2 :

Gengið er útfrá rennsli Tungnaár við vatnaöldur en dreginn frá þáttur Veiðivatna 9.0 Gl/viku.

Vetur: $V_a - 9.0$ er skipt í hlutfalli við stærð vatnasviða án jökuls. Þar við er bæt 11 Gl/viku (9 úr Veiðivötnum og 2 úr Blautukvísl + Útkvísl).

$$\alpha_{Tj1} = \frac{\text{vatnasvið v. Tu.kr. án jökuls}}{\text{vatnasvið v. Vatnaöld. án jökuls}} = \frac{1327 \text{ km}^2}{1122 \text{ km}^2} =$$

$$\alpha_{Tj1} = 1.18$$

$$R_2 = (V_a - 0.0)\alpha_{Tj1} + 11.0 - (V_a - 9.0)\alpha_{Lj1} \quad \text{Gl/viku}$$

$$= (V_a - 9.0)(\alpha_{Tj1} - \alpha_{Lj1}) + 11.0 \quad \text{Gl/viku;}$$

$$\alpha_{Tj1} - \alpha_{Lj1} = 1.18 - 0.17 = 1.01$$

$$R_2 = 1.01 (V_a - 9.0) + 11.0 \quad \text{Gl/viku.}$$

$$R_2 = f_2 (V_a - 9.0) + 11.0 \quad \text{Gl/viku}$$

Sumar: Að sumri er reiknað með að 25% af $(V_a - 9.0)$ komi frá Vatna-
jökli. Því sem þá er eftir þ.e.a.s. 0.75 $(V_a - 9.0)$ er
skipt í hlutfalli við vatnasvið án jökuls og án hraunsins vestan
ár. Þar við bætast 11 Gl/viku eins og að vetri

$$\alpha'_{Tj1} = \frac{\text{Vatnasvið v. Tu.kr. án jökuls og hrauns}}{\text{Vatnasvið v. Vatnaöld. án jökuls}} = \frac{1247 \text{ km}^2}{1122 \text{ km}^2} =$$

$$\underline{\alpha'_{Tj1} = 1.11.}$$

$$R_2 = 0.75 (Va-9.0) \cdot \alpha'_{Tj1} + 11.0 + 0.25 (Va-9.0)$$

$$- \{0.25 (Va-9.0) + 0.75 (Va-9.0) \alpha_{Lj1}\} \quad \text{Gl/viku}$$

$$R_2 = 0.75 (Va-9.0) \{\alpha'_{Tj1} - \alpha_{Lj1}\} + 11.0 \quad \text{Gl/viku} =$$

$$= 0.75 (Va-9.0) (1.11 - 0.17) + 11.0 \quad \text{Gl/viku}$$

$$\underline{R_2 = 0.70 (Va-9.0) + 11.0 \text{ Gl/viku};}$$

$$\underline{R_2 = f_2 (Va-9.0) + 11.0 \text{ Gl/viku.}}$$

Tungnaárkrókur R_2 :

Vetur: $f_2 = 1.01;$

Sumar: $f_2 = 0.70;$

Rennsli Köldukvíslar ofan Þórisóss R_3 :

$$R_3 = Ka ;$$

Ath. í "Input" spjöldum er Kaldakvísl ekki ein. Hins vegar er Þórisós + Kaldakvísl í 9 dálki og Þórisós einn í 10 dálki. Þannig verður að reikna R_3 :

$$\underline{\underline{R_3 = p + Ka - p}}$$

Rennsli Þórisóss R_4 :

$$R_4 = p$$

Rennsli Þjórsár við Norðlingaöldu R_5 :

Vetur: R_5 er fundið með því að skipta rennsli Efri-Þjórsár við ármót, í hlutfalli við jökullaus vatnasvið.

$$\alpha_{Nj1} = \frac{\text{Vatnasvið ofan Norðl.öldu, án jökuls}}{\text{Vatnasvið ofan ármóta, án jökuls}} = \frac{1548 \text{ km}^2}{2338 \text{ km}^2}$$

$$\underline{\underline{\alpha_{Nj1} = 0.66}}$$

$$R_5 = R_{\text{árm}} \cdot \alpha_{Nj1} = \underline{\underline{0.66 \text{ (Tröllkhl. - Hald)}}}$$

$$R_5 = \underline{\underline{f_5 \cdot (\text{Tröllk.hl.} + \text{Hald}) \text{ Gl/viku}}}$$

Sumar: Að sumri er gert ráð fyrir að 0.25. $R_{\text{árm}}$ komi frá jökli. Hinn hlutinn eða 0.75 $\cdot R_{\text{árm}}$ er reiknaður eftir stærð vatnasviða án jökuls α_{Nj1} .

$$R_5 = 0.25 \cdot R_{\text{árm}} + 0.75 \cdot R_{\text{árm}} \cdot \alpha_{Nj1} \text{ Gl/viku}$$

$$R_5 = (0.25 + 0.75 \cdot \alpha_{Nj1}) \cdot R_{\text{árm}} \quad \text{Gl/viku}$$

$$= f_5 \cdot R_{\text{árm}} \quad \text{Gl/viku.}$$

$$R_{\text{árm}} = \text{Tröllk.hl.} - \text{Hald} \quad \text{Gl/viku}$$

$$f_5 = 0.25 + 0.75 \cdot 0.66 = 0.75;$$

$$R_5 = 0.75 \cdot (\text{Tröllk.hl.} - \text{Hald}) \quad \text{Gl/viku.}$$

Norðlingaalda:

$$\text{vetur: } f_5 = 0.66$$

$$\text{sumar: } f_5 = 0.75$$

Innrennsli milli Norðlingaöldu og Dynks R_6 :

Vetur: Rennsli við Dynk er fundið með því að skipta rennslinu við ármót $R_{\text{árm}}$ í hlutfalli við stærð jökullausra vatnasviða.

$$\alpha_{Dj1} = \frac{\text{Vatnasvið Dynks, án jökuls}}{\text{Vatnasvið ofan árm., án jökuls}} = \frac{2103 \text{ km}^2}{2338 \text{ km}^2} = 0.90$$

$$\underline{\underline{\alpha_{Dj1} = 0.90}}$$

$$R_6 = R_{\text{árm}} \cdot \alpha_{Dj1} - R_{\text{árm}} \cdot \alpha_{Nj1} =$$

$$= R_{\text{árm}} (\alpha_{Dj1} - \alpha_{Nj1}) = R_{\text{árm}} \cdot f_6 ;$$

$$f_6 = \alpha_{Dj1} - \alpha_{Nj1} = 0.90 - 0.66 = 0.24;$$

$$R_6 = 0.24 \cdot R_{\text{árm}}$$

$$\underline{R_6 = f_6 \cdot (\text{Tröllk.hl.} - \text{Hald}) \quad \text{Gl/viku.}}$$

$$\underline{f_6 = 0.24}$$

Sumar: Að sumri reiknast jökulþáttur rennslis við Dynk vera $0.25 \cdot R_{\text{árm}}$. Hinn hlutinn reiknast út frá $0.75 \cdot R_{\text{árm}}$ í hlutfalli við jökullaus vatnasvið.

$$R_6 = 0.25 \cdot R_{\text{árm}} + 0.75 \cdot R_{\text{árm}} \cdot \alpha_{\text{Dj1}} \\ - \{0.25 \cdot R_{\text{árm}} + 0.75 \cdot R_{\text{árm}} \cdot \alpha_{\text{Nj1}}\} =$$

$$R_6 = 0.75 (\alpha_{\text{Dj1}} - \alpha_{\text{Nj1}}) \cdot R_{\text{árm}} = f_6 \cdot R_{\text{árm}} ;$$

$$\underline{R_6 = f_6 \cdot (\text{Tröllk.hl.} - \text{Hald}) \quad \text{Gl/viku}}$$

$$f_6 = 0.75 (0.90 - 0.66) = 0.18 ;$$

Dynkur:

$$\text{Vetur: } f_6 = 0.24$$

$$\text{Sumar: } f_6 = 0.18$$

Innrennsli ofan Búrfells, en neðan Dynks, Þórisóss og Tungnaárkróks R_7 :

$R_7 = \text{Tröllk.hl.} - \{ \text{innrennsli að Lauffit} + \text{innrennsli milli Lauffitar og Tungnaárkróks} + \text{rennsli Köldukvíslar ofan Þórisóss} + \text{rennsli Þórisóss} +$

rennsli Þjórsár við Norðlingaöldu + innrennsli milli
Dynks og Norðlingaöldu}.

Eða

$$R_7 = \text{Tr.hl.} - \{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6\} \quad \text{Gl/viku}$$

Vetur:

$$R_7 = \text{Tr.hl.} - \{f_1 \cdot (\text{Va} - 9.0) + f_2 (\text{Va} - 9.0) + 11.0 + \\ (\text{Þ} + \text{Ka} - \text{Þ}) + \text{Þ} + f_5 (\text{Tr.hl.} - \text{Ha}) + \\ + f_6 \cdot (\text{Tr.hl.} - \text{Ha})\} \quad \text{Gl/viku.}$$

Eða

$$R_7 = \text{Tr.hl.} - \{(f_1 + f_2) \cdot (\text{Va} - 9.0) + (f_5 + f_6) \cdot (\text{Tr.hl.} - \text{Ha}) + \\ + \text{Þ} + \text{Ka} + 11.0\} \quad \text{Gl/viku}$$

$$\underline{f_{71} = f_1 + f_2 = 0.17 + 1.01 = 1.18;}$$

$$\underline{f_{72} = f_5 + f_6 = 0.66 + 0.24 = 0.90;}$$

$$R_7 = \text{Tr.hl.} - \{f_{71} \cdot (\text{Va} - 9.0) + f_{72} \cdot (\text{Tr.hl.} - \text{Ha}) + \text{Þ} + \text{Ka} + 11.0\}$$

Gl/viku

Sumar:

$$R_7 = \text{Tr.hl.} - \{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6\} \quad \text{Gl/viku}$$

$$R_7 = \text{Tr.hl.} - \{f_1 \cdot (\text{Va}-9.0) + f_2 (\text{Va}-9.0) + 11.0 + \\ (\text{p} + \text{Ka} - \text{p}) + \text{p} + f_5 (\text{Tr.hl.} - \text{Ha}) + \\ f_6 (\text{Tr.hl.} - \text{Ha})\} \quad \text{Gl/viku}$$

$$R_7 = \text{Tr.hl.} - \{(f_1 + f_2) (\text{Va}-9.0) + (f_5 + f_6) (\text{Tr.hl.} - \text{Ha}) \\ + (\text{p} + \text{Ka}) + 11.0\} \quad \text{Gl/viku}$$

$$\underline{f_{71} = f_1 + f_2 = 0.38 + 0.70 = 1.08.}$$

$$\underline{f_{72} = f_5 + f_6 = 0.75 + 0.18 = 0.93}$$

$$\underline{R_7 = \text{Tr.hl.} - \{f_{71} (\text{Va}-9.0) + f_{72} (\text{Tr.hl.} - \text{Ha}) + \\ + (\text{p} + \text{Ka}) + 11.0\} \quad \text{Gl/viku}}$$

Innrennsli í Hvítárvatnsmiðlun R_8 :

Sumar: Reiknað er með að 25% af rennslinu við Gullfoss komi frá jöklum. Jökulrennslið skiptist á Hvítárvatnsós og Jökulfallið í hlutfalli við vatnasvið á jökli. Jökullausi hluti innrennslisins milli Hvítárvatns skiptist í hlutfalli við þá hluta vatnasviða sem ekki eru huldir jökli.

Rennsli jökulfallsins áætlast þá þannig:

$$R_{Jj} = 0.25 G \cdot J_j \quad \text{Gl/viku (jökulþáttur)}$$

$$\alpha_{Jj} = \frac{\text{Stærð vatnasviðs Jökulfalls á jökli}}{\text{Stærð vatnasviðs Gullfoss á jökli}} =$$

$$= \frac{90}{420} = 0.214$$

$$R_{Jj} = 0.25 G \cdot 0.214 = 0.053 G \quad \text{Gl/viku.}$$

Bergvatnsþáttur Jökulfallsins R_{Jb} :

$$R_{Jb} = (G - H_v - R_{Jj}) \cdot \alpha_{Jb} \quad \text{Gl/viku}$$

$$\alpha_{Jb} = \frac{\text{jökullaust vatnasvið Jökulfalls}}{\text{jökullaust vatnasv. milli Gullf. og Hv.vatns}} = \frac{297 \text{ km}^2}{1067 \text{ km}^2}$$

$$\alpha_{Jb} = 0.28.$$

$$R_{Jb} = (G - H_v - 0.05 G) \cdot 0.28 = 0.26 G - 0.28 H_v \quad \text{Gl/viku}$$

$$R_{Jj} + R_{Jb} = 0.31 G - 0.28 H_v \quad \text{Gl/viku}$$

Rennslið um Ábóta verður:

Rennsli Jökulfallsins + útrennsli úr Hvítárvatni þ.e.a.s.

$$R_g = 0.31G - 0.28 H_v + H_v = 0.31G + 0.72 H_v \quad \text{Gl/viku}$$

Vetur:

Rennsli Jökulfallsins R_J :

$$R_J = (G - H_v) \alpha_{Jb} = 0.28G - 0.28 H_v$$

Rennslið um Ábóta verður:

$$R_8 = R_J + H_v = 0.28G - 0.28 H_v + H_v = \underline{0.28G + 0.72 H_v \text{ Gl/viku}}$$

Þar sem munur á líkingum fyrir R_8 að sumri og vetri er lítil og skipting rennslis langt frá því að vera nákvæm er notuð sama líking fyrir R_8 sumar og vetur.

$$\underline{R_8 = 0.3G + 0.7 H_v \text{ Gl/viku}}$$

Innrennsli milli Gullfoss og Hvítárvatnsmiðlunar R_9 :

$$R_9 = G - R_8 \text{ Gl/viku}$$

$$= G - 0.3G - 0.7 H_v =$$

$$\underline{R_9 = 0.7G - 0.7 H_v \text{ Gl/viku}}$$

Viðauki 3Nákvæmara kerfislíkan

Í stórum dráttum er munurinn á nákvæmara líkaninu og því einfalda sá, að miðlunum er haldið aðgreindum og aflstöðvar hafa takmarkað uppsett afl. Nákvæmara líkanið gefur því mun betri möguleika til þess að líkja eftir rekstri kerfisins, eins hann er í raun og veru.

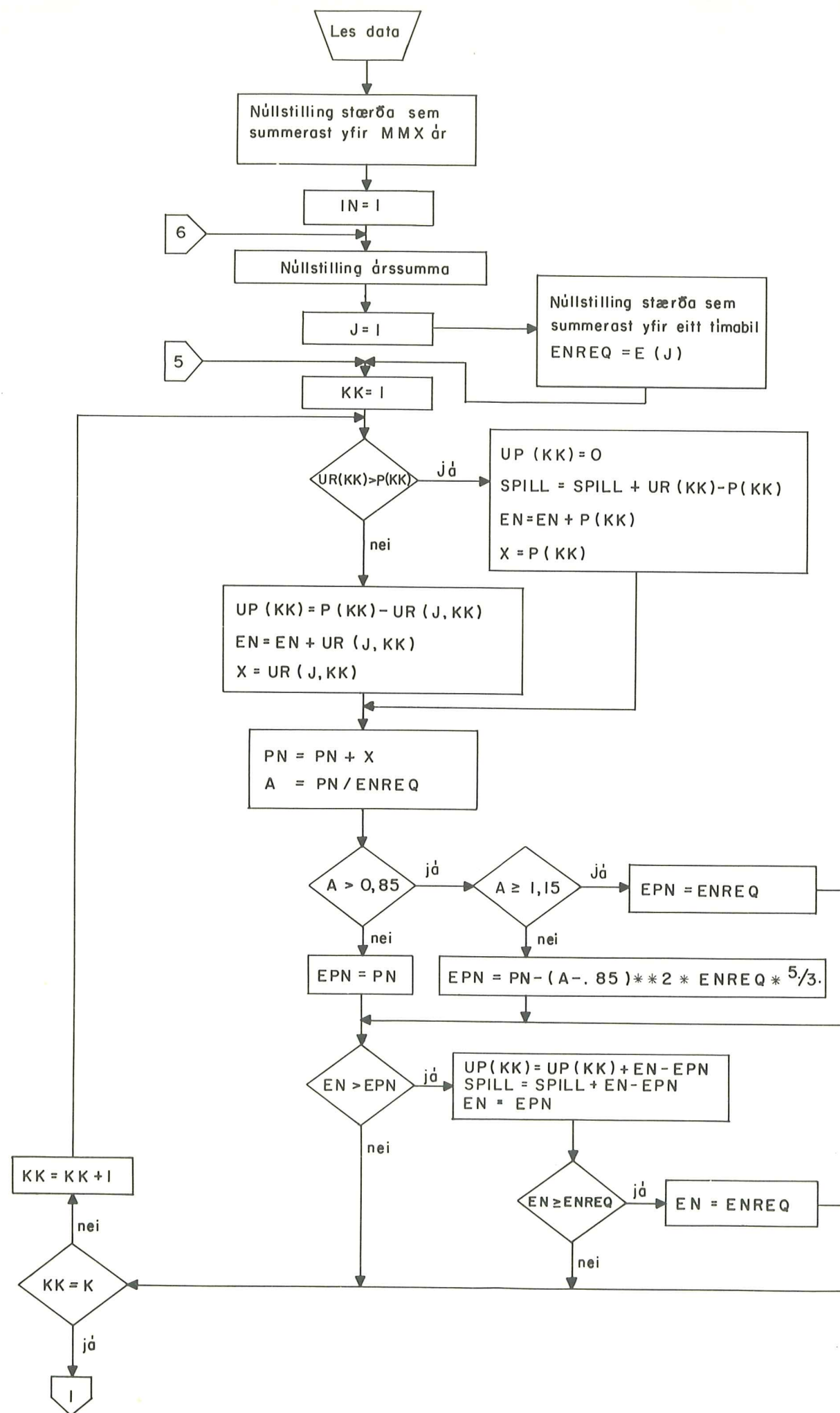
Fyrst er unnin sú orka, sem fáanleg er úr ómiðlanlegu rennsli í öllum stöðvum. Á því stigi er tekið tillit til breytilegs álags innan hvers tímabils, sem er tvær vikur. Mesta álag innan hvers tímabils er reiknað 15% hærra en meðalálagið. Ef nauðsynlegt reynist að vinna meiri orku, til þess að fullnægja eftirspurn, er athugað verðgildi vatnsins í miðlunarlónum. Notuð er sama verðgildatafla og í einfalda líkaninu. Fer það að sjálfsögðu eftir verðgildi vatnsins, hvort tekið er úr miðlunarlónum eða gripið til varmaflsstöðva. Komi í ljós að verðgildi vatnsins sé svo lágt, að taka skuli af vatnsbirgðum uppistöðulóna, til þess að anna orkupörfinni, er það framkvæmt á eftirfarandi hátt. Lónunum er raðað eftir fallandi fyllingarstigi, en með fyllingarstigi er átt við hlutfallið milli vatnsmagns í lóni og stærðar lóns. Fyrst er tekið úr því lóni, sem hefur hæst fyllingarstig. Hve mikið tekið er úr því, fer eftir aðfylgdarafli stöðvanna neðan lónsins og ómiðlanlegu rennsli til þeirra hveurrar um sig. Einungis svo mikið vatn er tekið úr lóni að hvergi renni framhá stöð vegna aflskorts. Ef þörf krefur er tekið úr lóni með næsthæst fyllingarstig og síðan koll af kolli unz tappað hefur verið úr lónum því orkumagni, sem verðgildi vatnsins segir til um eða unz orkupörf hefur verið fullnægt. Allt vatn, sem ekki er rými fyrir í lónum, er nýtt til orkuvinnslu eins og kostur er.

Á myndum 9-13 eru flæðirit af líkaninu.

ORKUVINNSLA UR ÓMIÐLANLEGU RENNSLI

Skýringar

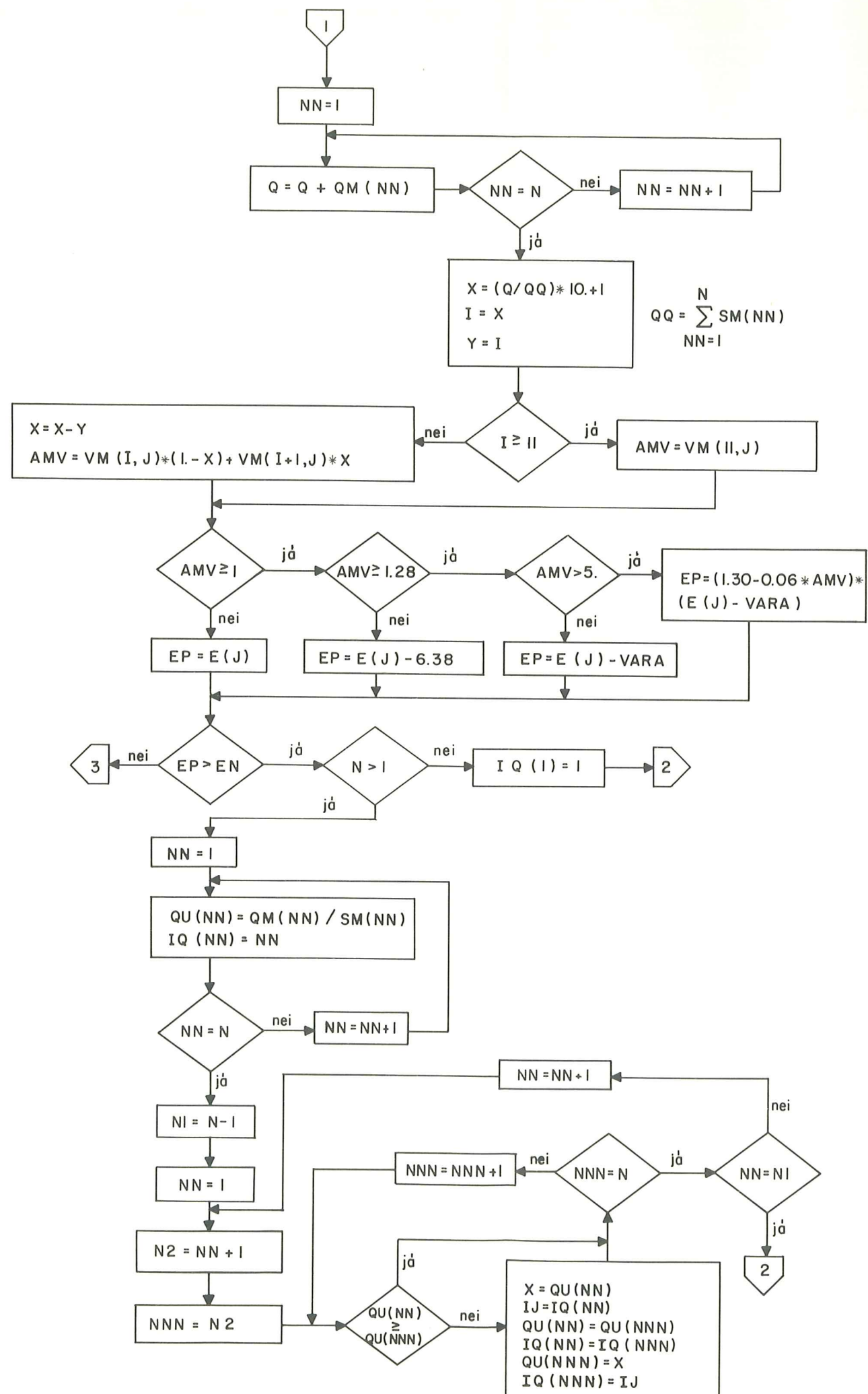
MMX	:	Fjöldi ára í random áraröð.
IN	:	Númer árs, random tala.
J	:	Númer tímabils.
KK	:	Númer aflstöðvar $KK = 1 \dots K$.
K	:	Fjöldi aflstöðva.
UR (KK)	:	Ómiðlað rennsli við aflstöð númer KK í GWh.
UP (KK)	:	Ónotað afl stöðvar númer KK eftir að unnið hefur verið úr ómiðluðu rennsli, $GWh/2v$.
SPILL	:	Framhjárennsli allra aflstöðva á tímabilinu J, í GWh.
EN	:	Orka unnin úr öllum aflstöðvum á tímabilinu J í GWh.
PN	:	Notað afl allra aflstöðva til orkuvinnslu úr ómiðluðu rennsli, $GWh/2v$.
E (J)	:	Orkuþörf á tímabilinu J, í GWh.
ENREQ	:	$ENREQ = E (J)$.
A	:	Hjálparstærð, notuð til þess að taka tillit til breytilegs álags innan tímabilsins J.
EPN	:	Mesta orka, sem unnt er að vinna á tímabilinu J úr ómiðluðu rennsli, ef tekið er tillit til breytilegs álags innan tímabilsins.



FUNDIÐ VERÐGILDI VATNS OG GEYMUM
RADAD EFTIR FYLLINGARSTIGI.

S k ý r i n g a r .

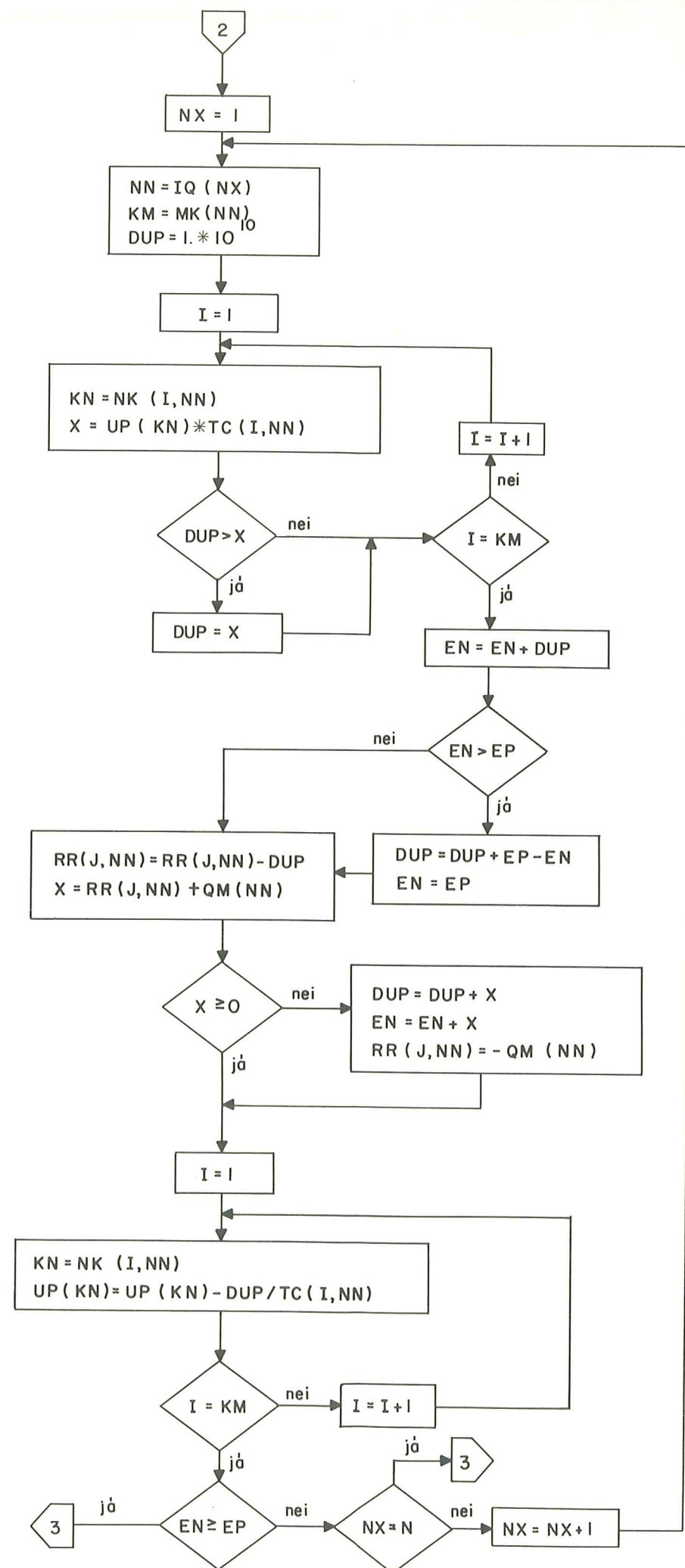
NN	:	Númer geymis, NN = 1 ... N.
N	:	Fjöldi geyma.
QM (NN)	:	Staða (orkuinnihald) geymis númer NN í byrjun tímabils J, í GWh.
Q	:	Heildarorkuinnihald allra geyma kerfisins við byrjun tímabils J, í GWh.
SM (NN)	:	Stærð geymis númer NN í GWh.
QQ	:	Samanlögð stærð allra geyma kerfisins í GWh.
X	:	$X = (Q/QQ) * 10. + 1$, fyllingarstig allra geyma $1 \leq x \leq 11$.
I	:	Næsta heila tala neðan við X.
X	:	X-Y, hjálparstærð til þess að interpólara í vatnsgildatöflu og finna AMV.
VM (I,J)	:	Vatnsgildatafla. I : Fyllingarstig geyma $1 \leq I \leq 11$ J : Tímabil númer J.
AMV	:	Interpolerað vatnsgildi, notað til þess að ákvarða heildarorkuvinnslu allra vatnsaflsstöðva á tímabilinu J.
EP	:	Heildarorkuvinnsla allra vatnaflsstöðva kerfisins á tímabilinu J, í GWh. EP ákvarðast af AMV.
QU (NN)	:	Hlutfall milli vatns í lóni nr. NN, NN = 1 ... N, á tímabilinu J og stærðar lóns, þ.e.a.s. fyllingarstig lónsins.
QU (NNN)	:	Fyllingarstig lóns nr. NNN, NNN = 2. N. Þessi stærð er notuð við röðun á miðlunarlónum eftir fallandi fyllingarstigi.
IQ (NN)	:	Hjálparstærð, notuð við röðun á miðlunarlónum eftir fallandi fyllingarstigi. NN = 1 ... N.
IQ (NNN)	:	Hjálparstærð, notuð við röðun á miðlunarlónum eftir fallandi fyllingarstigi. NNN = 2... N.
IJ	:	Hjálparstærð, gegnir sama hlutverki og IQ (NN).



ORKUVINNSLA ÚR MIDLANLEGU RENNSLI

Skýringar.

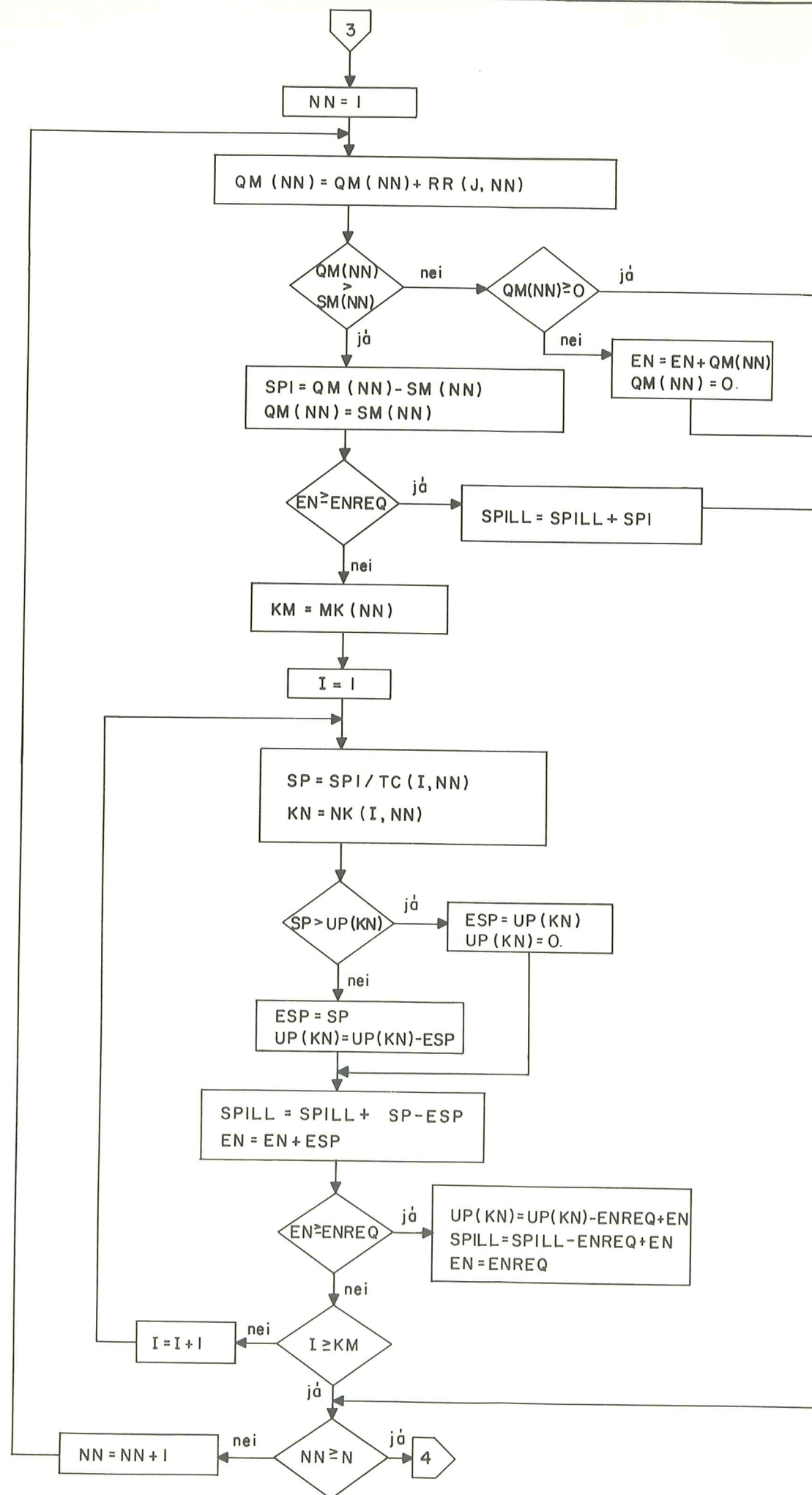
NX	:	Tappað er úr lónum í röðinni IQ (NX), NX = 1 ... N. Fyrst er tappað úr geymi nr. IQ (1) en seinast úr geymi nr. IQ (N).
IQ (NX)	:	Sjá skýringu við NX.
MK (NN)	:	Fjöldi aflstöðva neðan geymis nr. NN.
NK (I, NN)	:	Númer aflstöðvar neðan geymis númer NN. I = 1 ... KM.
KM	:	KM = Mk (NN), hjálparstærð.
DUP	:	Heildarorka í GWh unnin úr vatni í geymi nr. NN á tímabilinu J, ef tekið er tillit til aðfylgdarafls stöðva neðan geymisins.
TC (I, NN)	:	Stuðull myndaður af hlutfalli milli samansafnaðrar fallhæðar allra stöðva neðan geymis nr. NN og fallhæðar stöðvar nr. I.
UP (KN)	:	Ónotað afl stöðvar nr. KN í GWh/2V
EN	:	Orka unnin á tímabilinu J, í GWh.
EP	:	Heildarorkuvinnsla allra vatnsaflsstöðva á tímabilinu J, í GWh. EP ákvarðast af AMV.
RR (J, NN)	:	Innrennsli í geymi nr. NN á tímabilinu J, í GWh.
QM (NN)	:	Staða geymis nr. NN í lok tímabils, í GWh.



ORKUVINNSLA ÚR VATNI SEM EKKI ER
RÚM FYRIR Í GEYMUM.

S k ý r i n g a r

QM (NN)	:	Staða geymis nr. NN í GWh.
RR (J, NN)	:	Innrennsli í geymi nr. NN á tímabilinu J.
SM (NN)	:	Stærð geymis nr. NN í GWh.
SPI	:	Vatn, sem ekki er rúm fyrir í geymi nr. NN á tímabilinu J, í GWh.
EN	:	Orka unnin á tímabilinu J í GWh.
ENREQ	:	Orkuþörf á tímabilinu J, í GWh.
SPILL	.	Framhjárennsli allra stöðva á tímabilinu J, í GWh.
MK (NN)	:	Fjöldi aflstöðva neðan geymis nr. NN.
NK (I, NN)	:	Númer aflstöðvar neðan geymis nr. NN. I = 1 ... KM.
KM	:	KM = MK (NN), hjálparstærð.
KN	:	KN = NK (NN), hjálparstærð.
TC (I, NN)	:	Stuðull myndaður af hlutfalli milli samansafnaðrar fallhæðar allra stöðva neðan geymis nr. NN og fallhæðar stöðvar nr. I. I = 1 ... KM.
UP (KN)	:	Ónotað afl stöðvar nr. KN.
ESP	:	Hjálparstærð notuð við útreikninga á orku úr vatni, sem ekki er unnt að halda í geymi vegna skorts á rými.
SP	:	Hjálparstærð, hefur sama hlutverk og ESP.



NIDURSTÖÐUR

S k ý r i n g a r.

EN	:	Heildarorkuvinnsla með vatnsafla á tímabilinu J, í GWh.
SPILL	:	Framhjárennsli allra stöðva á tímabilinu J, í GWh.
RAS	:	Varmaorkuvinnsla og e.t.v. skortur á tímabilinu J, í GWh.
SKA	:	Skortur á tímabilinu J, í GWh.
VER	:	Verðgildi varmaorkuvinnslu og e.t.v. skorts á tímabilinu J.
VARA	:	Uppsett afl varastöðva í GWh/2V.
PK (KK)	:	Uppsett afl vatnsaflsstöðva, KK = 1 ... K.
PPK (KK)	:	Orka unnin í stöð nr. KK á tímabilinu J, í GWh.
MMX	:	Fjöldi ára í simuleringu.
E (J)	:	Orkuþörf í tímabilinu J, í GWh.
K	:	Fjöldi vatnsaflsstöðva í kerfinu.
XEK	:	Ársorka unnin með vatnsafla í GWh.
XSPILL	:	Framhjárennsli allra stöðva kerfisins í GWh á ári.
XRAS	:	Varmaorkuvinnsla og ef til vill skortur í GWh á ári.
XSKA	:	Skortur í GWh á ári.
XVER	:	Árlegt verðgildi varmaorkuvinnslu og e.t.v. skorts.
SEK	:	Summa orkuvinnslu allra MMX ára í GWh.
SSPILL:	:	Summa framhjárennslis allra stöðva í MMX ár í GWh.
SRAS	:	Summa varmaorkuvinnslu og ef til vill skorts í MMX ár í GWh.
SSKA	:	Summa skorts í MMX ár í GWh.
SVER	:	Summa verðgildis skorts og varmaorkuvinnslu í MMX ár.

