

Framburður aurs í Þjórsá og Hvítá

eftir

Hauk Tómasson

Orkudeild raforkumálastjóra  
Febrúar 1960

## Framburður aurs í Þjórsá og Hvítá

Á árunum 1949-59 hefur aurmagn vatnsins í Þjórsá og Hvítá Söru hverju verið mælt. Er skýrsla um þessar mælingar í riti Sigurjóns Rist og Jakobs Björnssonar "Þjórsá and Hvítá River Systems Southern Iceland". Þó hafa ekki verið tekin mörg sýnishorn á sama stað nema á þremur stöðum, þ.e.a.s. við: Urriðafoss (13 sýnishorn), Búðafoss (22 sýnishorn) og við Gullfoss (27 sýnishorn). Sýnishornin eru tekin á stöðum með mjög miklum straumköstum (turbulens) til þess að fá sem allra mest af framburði árinna upphrært. Ekki máu þó hafa komið stærri korn en 2 mm í þvermál í sýnishornnaflöskurnar og býst ég þá við að eitthvað hafi færst með botni, að minnsta kosti sumsstaðar.

Mæling á kornastærð aursins var ekki gerð, en slíkar mælingar eru mjög nauðsynlegar, ef unnt á að vera að segja með nokkurri vissu, hvað haldast mundi upphrært og hvað setjast mundi af aurnum í uppistöðulón. Nokkra hugmynd ætti einnig að vera unnt að fá um framburð árinna með botni, ef rannsakað er kornastærð árbotnins og þess svæðis, sem áin flæðir yfir í flóðum og er þá unnt út frá straumhraða árinna að reikna út skriðhraða og magn botnframburðarins. Varla yrði þetta nokkurntíma mjög nákvæmt, tæplega meira en upp á stærðsgráðu.

Aurburðarmælingarnar færði ég inn í hnitakerfi (kóordinata) með aurburð á x-ás og rennsli á y-ás. Var það gert til þess að reyna að finna samband milli aurburðar og rennslis. Við Urriðafoss var dreifing punktanna mikil. Skipti ég þar niður mælingunum eftir sumarrennsli, haustrennsli og vetrarrennsli. 4 punkta taldi ég til haustrennslis. Lágu þeir nokkurn veginn á beinni línu og var þá aurburður langmestur. Dró ég þá beina línu fyrir samband aurburðar og rennslis á haustin. Það sama gerði ég fyrir sumarrennsli og vetrarrennsli. Þar er að vísu dreifing frá beinni línu, með en ekki var þó við Urriðafoss hægt að sjá neina tilhneigingu til "eksponential" aukningar aurburðar með auknu rennsli innan þessara árstíða frekar en á haustin.

Fæst á þennan hátt þrjú "linier" sambönd aurburðar og rennslis.

Eykst þá aurburðurinn með auknu rennsli hraðast á haustin; Mun hægar á sumrin, en mjög hægt á veturnar. Samkvæmt meðalkúrvu fyrir alla punktana er samband aurburðar og rennslis "eksponentíalfunktion" eins og við var búist.

Við Búðafoss voru niðurstöður nákvæmlega þær sömu og Urriðafoss. Þó er dreifing punkta minni þar. Mestur aurburður var þar við eina mælingu á vori.

Við Gullfoss eru flestar mælingar gerðar við lítið rennsli og lítinn aurburð. Skipti ég því ekki niður mælingunum þar eftir árstíðum, en lét mér nægja að teikna meðalkúrvu, en hún er svipuð og við Búða- og Urriðafoss. Mestur aurburður var hér í flóði einu seinni hluta vetrar.

Hægt er að fá mjög eðlilega skýringu á mismunandi framburði ána eftir árstíðum. Frost losa mikið um jarðveginn og er hann því auðgrafnastur, þegar frost eru að fara úr honum. Á haustin eru oft smá frostakaflar og næturfrost, en þess á milli oft miklar rigningar. Er það því mjög eðlilegt, að þá sé mikill aurburður í ám. Á veturna frýs jörðin og helzt frosin í lengri tíma. Einnig frýs áin þá oft og leggst í ísstokk og nær þá ekki undirlagi sýnu nema að litlu leyti. Þá er aurburður mjög lítill. Á vorin, þegar frost fara úr jörðu ætti aurburður að vera mikill í fyrstu flóðum. En sá tími er líklega oft stuttur og er enginn mæling fyrir slíkt flóð við Urriðafoss. Aftur á móti er slík mæling bæði við Búðafoss og Gullfoss, þar sem mestur aurburður mældist á vori og seinni hluta vetrar. Á sumrin er aftur á móti yfirleitt mikið vatn í þessum ám, sem fá nokkurn hluta vatns síns frá jöklum. Nær þá farvegurinn smám saman að aðlaga sig nokkuð þessu mikla vatnsmagni. Auk þess grefst jarðvegur lítið á sumrin, því þá heldur gróður honum hvað fastast.

Eftir hinu árstíðabundna liniera sambands rennslis og aurburðar við Urriðafoss og Búðafoss reyndi ég að áætla árelgan framburð þar af upphræðu efni. Skipti ég þá árinu í þrennt: 1) haust, sept.- des.; 2) vetur, jan-maí; og 3) sumar, júní-ágúst. Tók ég þá meðalrennsli hvers

mánaðar og fór með það inn á línu sambands aurburðar og rennslir þeirrar árstíðar og fékk þar framburðinn í kg/s í þeim mánuði.

Niðurstaðan var

	Urriðafoss			Búðafoss		
sept.	400 kg/s	1.000.000 t.	70 kg/s	178.000 t.		
okt.	380 "	950.000 "	40 "	104.000 "		
nóv.	325 "	850.000 "	25 "	65.000 "		
des.	220 "	650.000 "	12 "	30.000 "		
jan.	50 "	130.000 "	10 "	26.000 "		
febr.	55 "	130.000 "	10 "	26.000 "		
marz	50 "	130.000 "	25 "	65.000 "		
apr.	60 "	160.000 "	10 "	26.000 "		
maí	90 "	230.000 "	75 "	190.000 "		
jún.	270 "	700.000 "	145 "	375.000 "		
júlí	225 "	590.000 "	130 "	348.000 "		
ág.	200 "	<u>500.000 "</u>	75 "	<u>190.000 "</u>		
		Samtals: 6.020.000 "		Samtals: 1.660.000 "		

Þessi framburður samsvarar 3,7 GL af seti við Urriðafoss og 1 GL við Búðafoss, ef reiknað er með eðlisþyngd setzin 1,6, sem ætti ekki að vera fjarri lagi. Þar eð sambandið er tekið sem línært milli aurburðar og rennslis innan hverrar árstíðar er þetta stærðfræðilega rétt að farið. En eðlilega má deilda um hvað telja beri til hverrar árstíðar og er það sjálfsagt misjafnt ár frá ári. Þessa skiptingu, sem hér er gerð, byggji ég á niðurstöðum mælinganna, sem allar eru með dagsetningu. Vafasömumust er staðsetning septembers og maí.

Réttari aðferð ætti að vera til reikninga á aurfarmburði að taka aurfamburðinn af meðalaurburðarlínu en vatnsmagn af langæislínu rennslis. Með þeirri aðferð fékk ég eftirfarandi niðurstöður:



Urriðafoss		Búðafoss		
rennsli kl/s	% af tíma	framburður	% af tíma	framburður
> 600	8	2.000.000 t.	7	660.000 t.
600-500	10	1.550.000 "	9	365.000 "
500-400	16	1.040.000 "	16	365.000 "
400-300	19	660.000 "	20	180.000 "
300-200	27	330.000 "	25	120.000 "
< 200	20	100.000 "	23	30.000 "
Samanlagt		5.7 milj.tonna		1,7 milj.tonna

og samsvarar þetta 3,5 GL og 1,1 GL af seti. Er þetta mjög í samræmi við niðurstöður hinna reikninganna.

Langæislinu fyrir Búðafoss fékk ég með því að færa upp skalann á langæislinu Urriðafoss um 15 m <sup>3</sup>/s.

Eftirtektarverður er hinn mikli munur á framburði við Búðafoss og Urriðafoss. Þykir mér líklegt, að hér sé um sýndarmun að ræða en ekki raunverulegan. Þessi munur getur alls ekki legið í því að burt grafið rúmir 2 GL á ári af vatnasviði og farvegi Þjórsár á milli fossanna. Samkvæmt frásögnum er áin þarna nokkurnveginn í jafnvægi, hleður hvorki undir sig, né grefur sig niður. Þessvegna hlýtur framburður við Urriðafoss og Búðafoss að vera nokkurnveginn jafn mikill. Þessi munur gæti hugsanlega stafað af skekkju í mælingunum þ.e.s. að mælingarnar séu ekki nógu margar né teknar nógu samtímis til þess að þær hafi nokkuð "statistískt" gildi. Ekki hef ég þó trú á, að allur þessi munur stafi af því. Megnið af mælingunum eru teknar á sömu árum á báðum stöðum. Sigurjón Rist telur líklegt, að meiri straumköst séu við Urriðafoss en Búðafoss. Sé svo, getur munurinn legið í því aðallega, að miklu meira er upphrært við Urriðafoss en Búðafoss og hitt fari þá með botni við Búðafoss. Þá settu einnig tölurnar fyrir Urriðafoss að gefa réttari hugmynd um aurburðinn en Búðafoss.

Aurburðurinn við Gullfoss reiknaði ég eftir meðalaurburðarlínu og langæislinu. Niðurstaðan var.

rennsli	% af tíma	framburður
> 300	2	88.000 t.
300-200	9	134.000 "
200-150	14	45.000 "
< 150	75	49.000 "

Samtals 316.000 tonn; eða 0,2 GL per/ár. Hér eru engar aðrar mælingar til í Hvítá og því enginn kontroll.

Aurburðarmælingunum við Urriðafoss og Búðafoss var skipt niður í þrjá flokka: við vaxandi, við minnkandi og við stöðugt rennsli. Var notað til þess daglegar rennslismælingar við Urriðafoss. Niður stöður sýna ótvírætt, að miklu meiri aurburður er við vaxandi rennsli en við minnkandi eða stöðugt.

Ekki hefur enn verið rætt um allan framburð ána. Eftir er að ræða um það, sem berst með ís, en að öllum líkingum er ómögulegt að gera nokkra áætlun um hversu mikið það er. En í mörgum ám er framburður aðallega með ís. Átla má, að nokkuð samband sé milli framburðar með ís og árbots þannig að af grófkornóttum árbotn berst mest með ís en varla nokkuð af vatninu sjálfu en af fínkornóttum berst mest með vatninu, en minna með ís.

Árbotn í nokkru jafnvægi er venjulega þakinn malar og steinlagi. Er þetta vegna þess að áin ber burt hin fínkornóttari efni en eftir situr mól og steinar. Kemur að því, að vatnið hættir nokkurnvegin að grafa árbotninn nema með hjálp ísa. Fínkornóttur árbotn er aftur á móti ekki í jafnvægi, jafnvel þótt litlar breytingar sé unnt að sjá þar ár frá ári, hlýtur að vera mikil umsetning jarðefna, þótt það sem að berst og burt fer sé nokkurnvegin jafn mikið.

Ofan við Heiðartanga rennur Þjórsá 14 km leið um mjög flatar eyrar, sem að sögn Sigurjóns Rist eru aðallega úr sandi. Er þá augljóst að þarn hlýtur að vera mjög mikil umsetning jarðefna, enda benda mælingarnar við Urriðafoss ótvírætt til þess. Að vísu eru þessar mælingar fáar en þó tel ég, að skekkja geti varla verið meiri en svo að

álykta megj, að framburðurinn skipti gíglítrum á ári við Urriðafoss. Af þessu á 15-20% sér stað við rennsli undir  $400 \text{ m}^3$  sek, þ.e.a.s. án þess að um flóð sé að ræða.

Virkjun við Urriðafoss. Almennt má segja, að hvaða truflun sem er á þessu jafnvægi á eyrunum ofan við Urriðafoss hljóti að hafa töluverðar afleiðingar. Nú mun uppistöðulóni við Urriðafoss aðeins vera ætlað að rúma fáa gígalíttra, þ.e.a.s. rúmtaks þess yrði af sömu stærðargráðu og árlegur framburður um lónið. Ekki er þó hætt á að það fyllist alveg vegna þess að straumurinn í flóðum, þegar flóðgáttir eru opnar, mun hindra að fyllist lónið þar sem verulegur straumur nær þá til. Þó mun eitthvað fyllast og þrengjast. En uppi á eyrunum mun straumurinn varla verða nógu mikill til þess að grafa aftur það, sem sest hefði milli flóða, nema þá allra fremst. En lengra upp á eyrunum mundi opnum flóðgáttanna ekki gæta neitt.

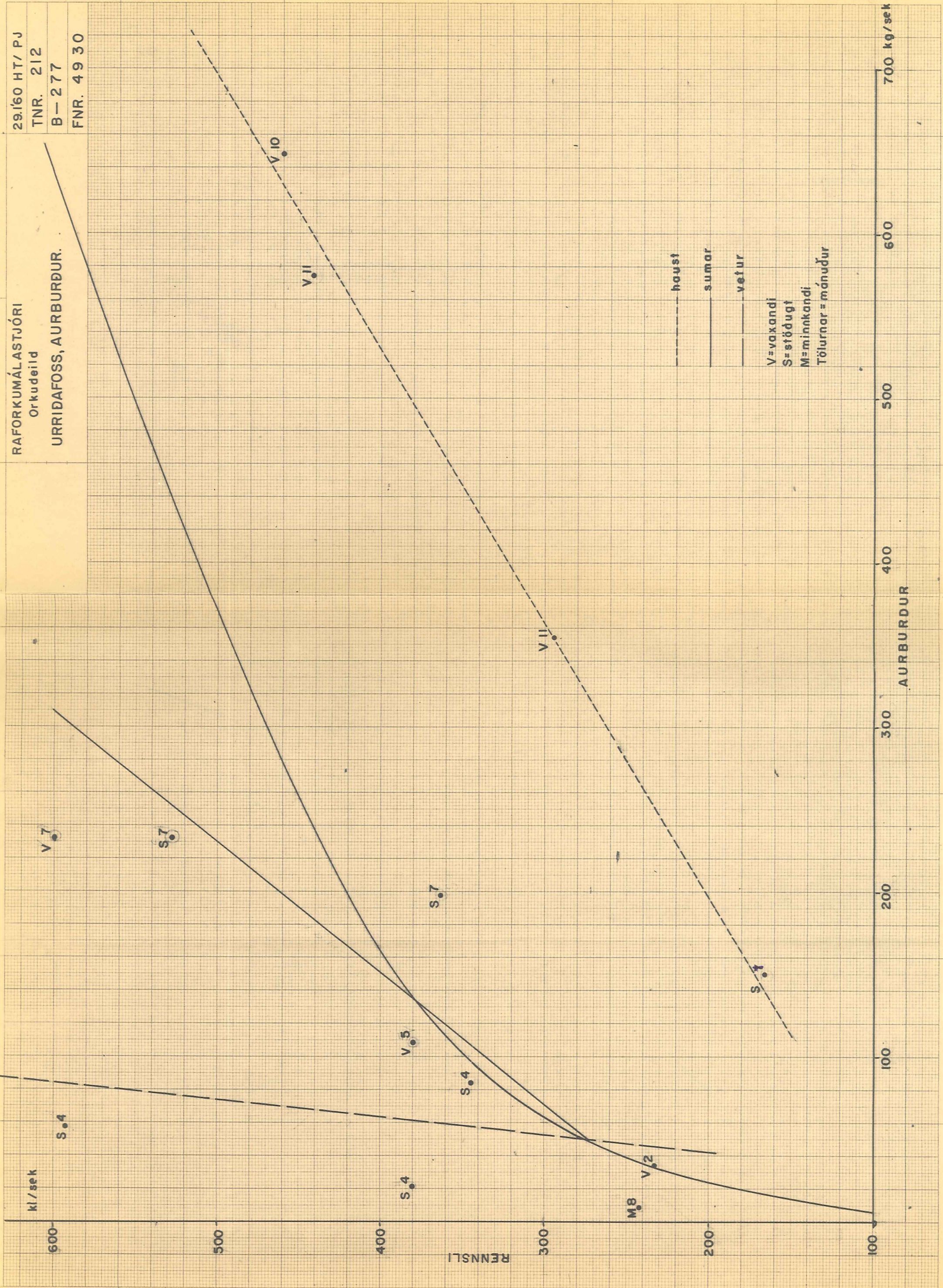
Halli eyranna er um  $1/2000$  og er neðri endi þeirra í kvóta 48 m. Telja má víst að hallinn  $1/2000$  sé sá minnsti, sem mögulegur er á þessum eyrum svo jafnvægi eigi að haldast milli þess, sem að kemur og burt fer. Stífla upp í kvóta 50 m mun verka eins og neðri hluti eyranna sé hækkaður um 2 m. Mun þessi hækkun smám saman leiða upp eftir, þangað til eyrarnar hafa aftur fengið hallann  $1/2000$  en þá hafa þær allar hækkað um 2 m.

Mér reiknast svo til, að upp þurfi að fylla ca 28 GL þar til allar eyrarnar hafa hækkað um 2 m. Tíminn, sem það tæki mundi í versta tilfalli vera um áratugur og bezta um hálf öld. En með nánari rannsóknum ætti að vera hægt að segja miklu nákvæmar til um tímann.



29.160 HT/ PJ  
 TNR. 212  
 B-277  
 FNR. 4930

RAFORKUMÁLASTJÓRI  
 Orkudeild  
 URRIDAFOSS, AURBURÐUR.



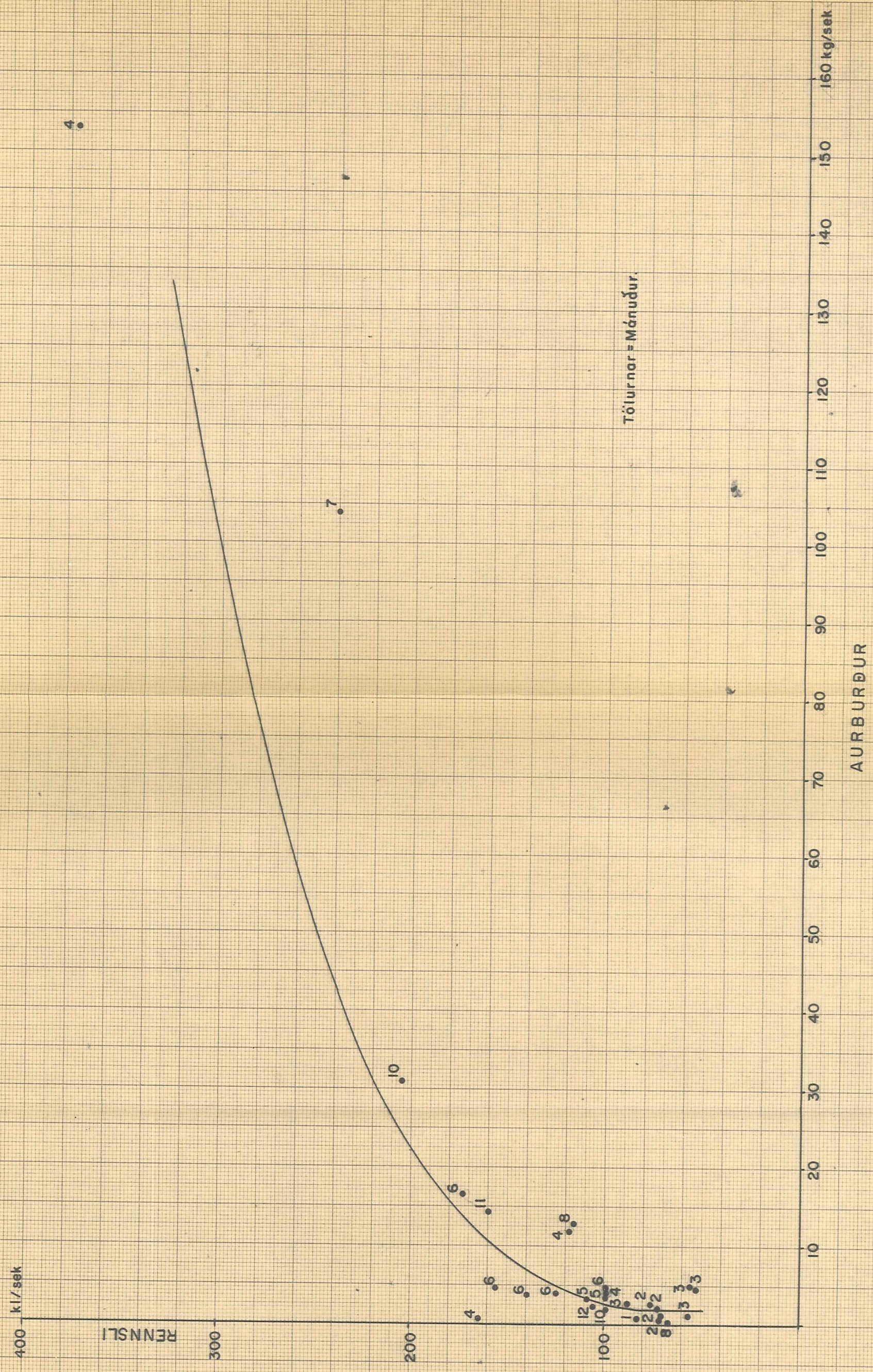






29.1'60 HT / PJ  
TNR.176  
B - 274  
FNR. 4932

RAFORKUMÁLASTJÓRI  
Orkudeild  
GULLFOSS, AURBURÐUR





Liniert samband aurburðar og rennslis meðhöndlað statistískt.

Aðferðir, sem notaðar eru við þessa reikning er lýst í bókinni "Applied Statistics for Engineers" eftir William Volk. Reiknuð er út línan  $\hat{Y} = a + bx$ , þar sem  $\hat{y}$  = útreiknað magn aurburðar við eitthvert ákveðið rennsli;  $a$  = stuðull, gefur útreiknað gildi á  $y$  við  $X = 0$ ;  $b$  = halli línunnar;  $X$  = rennsli árinna. Byrjaði ég fyrst að reikna út Urriðafoss, en þar eð ég fékk halla línunnar negativan, var auðsætt að dreifing punktanna væri of mikil og þeir of fáir til þessara reikninga. Við Búðafoss slepti ég einum punkti, þar sem ég hef rökstudda ástæðu til að efast um að allt sé rétt með farið. Og þar eð punkturinn hefur mjög mikil áhrif á útkomur, taldi ég rétt að sleppa honum í reikningum. Eru því 20 punktar teknir til meðferðar við Búðafoss. Punktarnir eru færðir inn á línu-ritið á eftir. (mynd 1).

$N = 20$  fjöldi punkta.

$\sum x = 8837$        $\bar{X} = 441,8$        $x$  = rennsli;  $\bar{x}$  = meðalrennsli fyrir punkta, sem ganga inn í reikningana.

$\sum y = 3875$        $\bar{y} = 193,2$        $y$  = aurburður;  $\bar{y}$  = meðalaurburður

$\sum x^2 = 4\ 516\ 551$        $\sum (x - \bar{x})^2 = \sum x^2 - n \bar{x}^2 = 612\ 364$

$\sum y^2 = 1\ 473\ 164$        $\sum (y - \bar{y})^2 = \sum y^2 - \bar{y} \sum y = 724\ 514$

$\sum xy = 2\ 807\ 021$        $\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y}) = \sum xy - \bar{x} \sum y = 495\ 046$

$b = \sum xy / \sum x^2 = 0,808$

$a = \bar{y} - b \bar{x} = -164,6$

$\hat{y} = -164,6 + 0,808X$

$r = \frac{\sum xy}{(\sum x^2 \sum y^2)^{1/2}} = 0,7531; r^2 = 0,5523$

$r$  er stuðull (correlations coefficient), sem samanborinn við samskonar reiknað  $r$  fyrir jafnmarga punkta setta eftir slumpaðferð, gefur það hvort raunverulega sé um samband að ræða milli umræddra stærða.

$r$  fyrir 20 punkta setta eftir slumpaðferð fer ekki upp fyrir 0,679 í 99,9% tilfellum. Er því hægt að segja með 99,9% nákvæmni að samband er á milli aurburðar og rennslis við Búðafoss.

$$s^2(\hat{y}) = \frac{(1 - r^2) \sum y^2}{N - 2} = 18020$$

$$s^2(b) = \frac{s^2(\hat{y})}{x^2} = 0.02942 \quad S(b) = 0.172$$

$$s^2(\bar{y}) = \frac{s^2(\hat{y})}{N} = 901 \quad S(\bar{y}) = 30$$

$S$  er mælikvarði á "standard" frávik

$$t_{0,05, N-2} = 2.101$$

$t \cdot S(b) = \pm 0,361$  sem þýðir, að 95% líkur eru á að hallatala línu aurburðar og rennslis liggi innan markanna  $<1,169$  og  $>0,447$ .

$t \cdot S(\bar{y}) = \pm 63$  sem þýðir, að 95% líkur eru á, að meðaltal aurburðar liggi innan markanna  $<256,2$  og  $>130,2$ .

Á þá að vera 95% líkur á að samband aurburðar og rennslis liggi milli þeirra marka, sem á mynd 1 eru takmörkuð af tveim hyperbólum, með línurnar

$$\hat{y} = -4,3 + 0,447x \text{ og } \hat{y} = -323,3 + 1.169x \text{ sem asyntótur og ganga í gegnum punktana } y = 256,2 \text{ og } y = 130,2; \text{ og } x = \bar{x} = 441,8.$$

Mynd 2. sýnir langæislínu aurburðar við Búðafoss. Minnsti aurburður, 0,85 GL/ári, fékkst með því að miða við neðri mörk á mynd 1, en mesti aurburður, 2,07GL/ári, með því að miða við efri mörk.

Ef þessi sýnishorn væri raunverulega á að treysta, væri unnt að segja, að sá aurburður, sem er upphærður við Búðafoss, liggi innan þeirra marka, sem sýnd eru á 2 mynd.



Til þess þurfa sýnishornin að vera tekin við sem flestar aðstæður og fjöldi þeirra í sem næst réttu hlutfalli við varanleika hverrar aðstæðu fyrir sig. Hinar mismunandi aðstæður eru þrennskonar, sem ætti að vera unnt að taka tillit til, þ.e. mismunandi rennsli, árstíðir eða veðráttta og vaxandi eða minnkandi rennsli.

Líklega væri æskilegt, að rennslið, þegar sýnishornin eru tekin, skiptist á sem svipaðastan hátt og tíðni mismunandi rennslis samkvæmt langæislinu. Reiknaði ég það því út og er niðurstaðan sem stöplalínurit á 3. mynd. Til samanburðar birti ég hér töflu um tíðni mismunandi rennslis samkvæmt langæislinu og rennslis við sýnishornatökurnar.

rennsli kl/s	samkvæmt langæislinu dagar	við sýnishornatökur %	við sýnishornatökur %
1040	4,5	1,2	0
1040- 970	1,2	0,4	0
970- 900	1,6	0,5	0
900- 830	2,8	0,8	0
830- 760	5,1	1,4	10
760- 695	6,5	1,7	10
695- 625	8,0	2,2	0
625- 555	14,4	3,9	5
555- 485	30,1	8,2	25
485- 415	37,6	10,3	5
415- 345	43,6	12,0	10
345- 275	57,7	15,8	15
275- 210	66,2	18,3	10
210- 140	62,8	17,1	10
140- 95	22,8	6,2	0
Samtals	365,0	100,0	100,0

Þetta sýnir, að lítið samræmi er milli rennslis við sýnishornatökur og samkvæmt langæislinu og liggur meðaltal fyrir rennsli við sýnishornatökur 80 kl/s hærra en meðalrennsli Þjórsár við Búðafoss. Raunar má eyða þessum annmarka

að nokkru með því að gefa punktum misjafna byngd, þannig að útreiknað samræmi fáiist milli rennslis við sýnishornatökur og langæislinu.

Til þess að fá einhverja hugmynd um hvernig sýnishornin skiptast milli mismunandi veðurfarsskilyrða athugaði ég í hvaða mánuðum sýnishornin eru tekin og fékk þá eftirfarandi:

Jan. 0	apr. 3	júlí 3	okt. 0
febr. 3	maí 3	ág. 2	nóv. 1
marz 1	júní 1	sept. 2	des. 1

Sýnishornunum er sem sagt mjög ójafnt skipt yfir árið og er sérstaklega alvarlegur skorturinn á sýnishornatökum á haustin, þegar vænta má, að aubruður sé mjög mismunandi og oft mikill.

Enn er eitt, sem unnt er að taka tillit til og það er hvort rennsli sé vaxandi, minnkandi eða stöðugt.

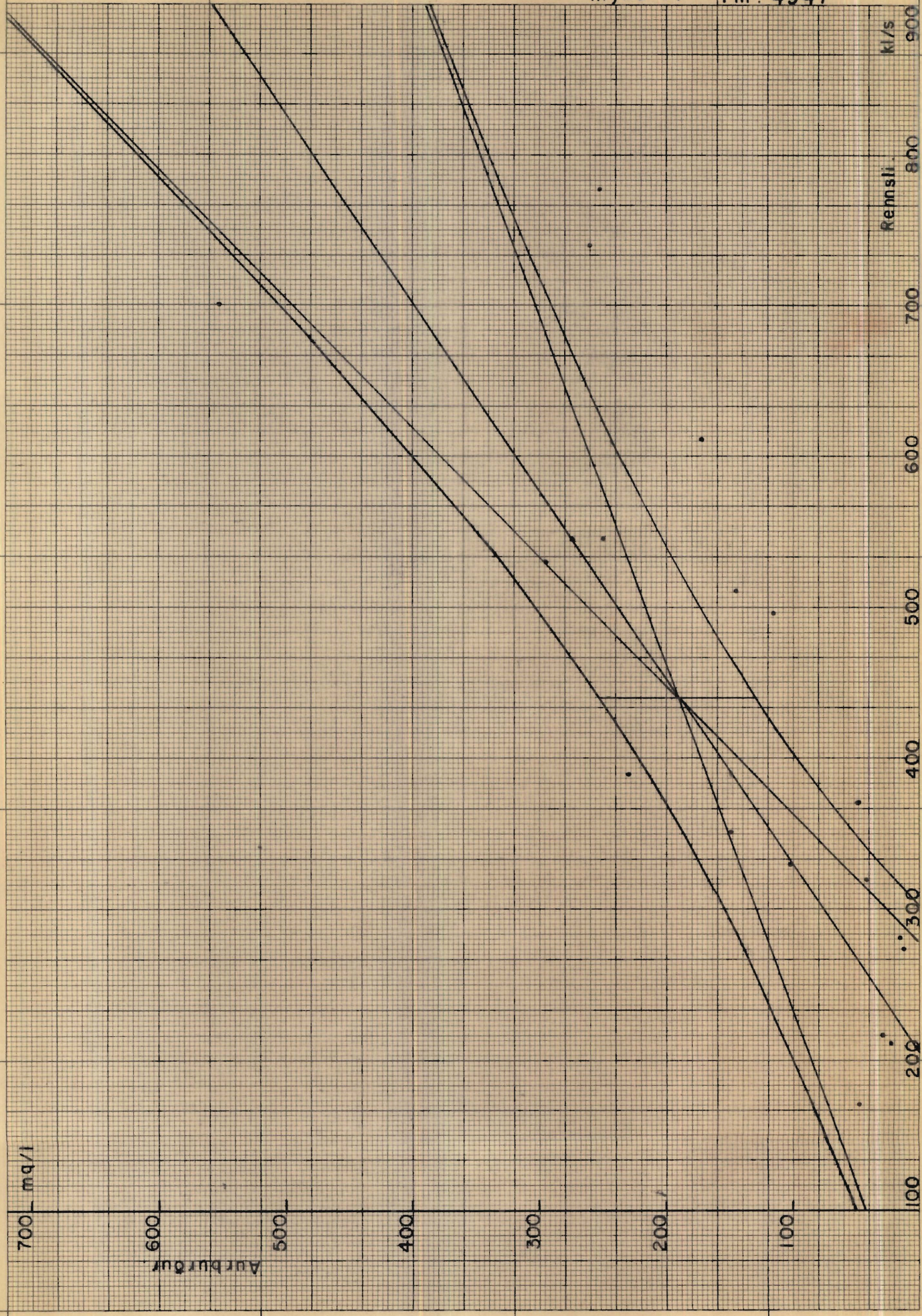
Við Búðafoss eru flest sýnishornin tekin við stöðugt rennsli, eða 12; 5 við vaxandi og 2 við minnkandi.

Kvalitatívt eru áhrif vaxandi og minnandi rennslis augljós en kvantitatívt er það alveg óleyst vandamál eins og áhrif veðráttunnar.

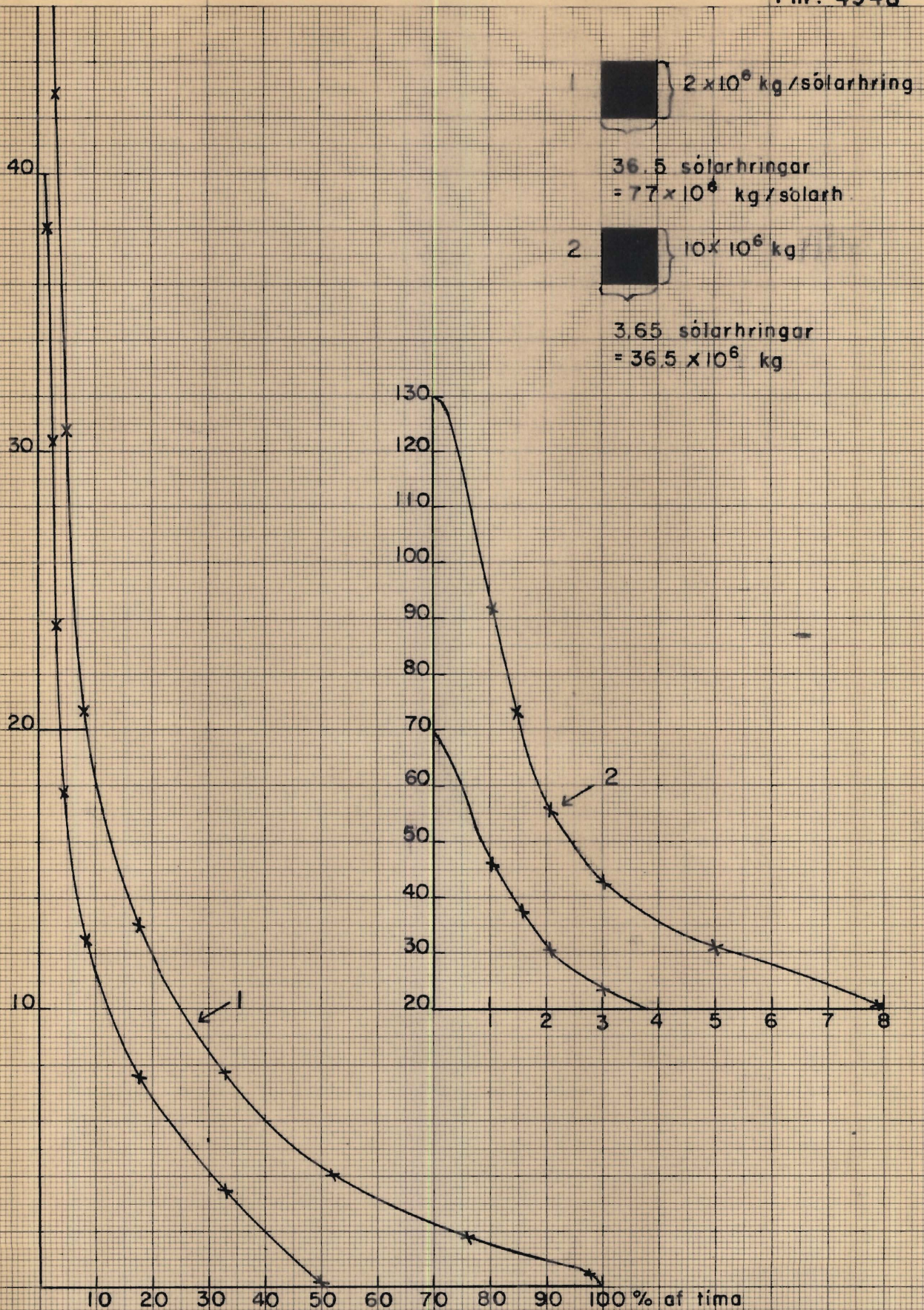
Þessar hugleiðingar benda til þess að ekki sé mikið upp úr þessum reikningum um aurburð við Búðafoss að leggja. Til þess að unnt sé að taka tillit til þessara þriggja aðalþátta, sem áhrif hafa á aurburðinn þarf örugglega margfalt fleiri sýnishorn skipt sem jafnast niður á hinar ýmsu aðstæður.



839





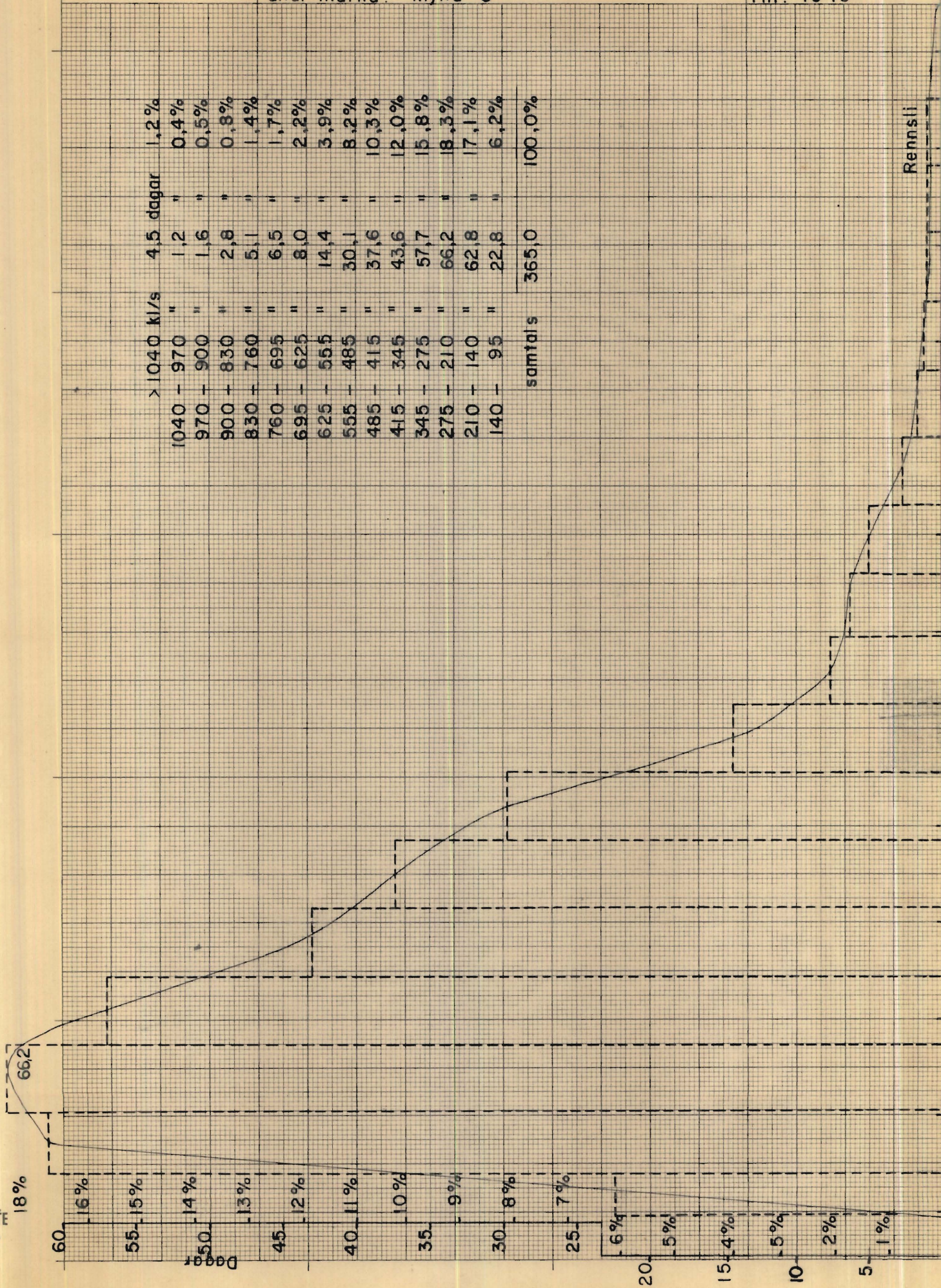


Minnsti aurburður 1.357 000 tonn 0.85 GL á ári

Mesti " 3.310 000 tonn 2.07 GL á ári

3 GL á ári





SIS 73 25 01 - 523 A4 - 1 x 1 mm

ESSELTE 4446