

Raforkumálastjóri
Jarðhitadeild

ORRUSTOFNUN
MÁLAFN

563

Þ. hillu
5

SKÝRSLUR UM RANNSÓKNIR Á ÞURRKUN KÍSILMOLDAR

1. Baldur Línal:

Rannsókn á þornunareiginleikum
Kísilmoldar á gufuhitaðri plötu

2. Ísleifur Jónsson:

Athuganir á afköstum röraþurrkara
fyrir Kísilmold

Maí 1960

1. eintak af 5

Kísilmold er yfirleitt mjög vatnsmikil í mýrum og stöðuvötnum. Beinasta aðferðin til að nema þetta vatn burtu er bein þurrkun á efninu. Sú aðferð er þó oft útilokuð nema hún fari fram sem liður í fleiri ráðstöfunum, sem miða að því að fjarlægja vatnið. Við Mývatn eru þó mjög óvenjulegar aðstæður sökum jarðgufunnar og þykir því mikils um vert að þekkja sem gerst hinn hagræna grundvöll þurrkunar sem aðalaðferðar í sambandi við þessa námu.

Tilraunatæki

Búin var til 1 m² gufuhituð járnplata, sem sýnd er á meðfylgjandi teikningu. Platan er 5 mm þykk, 130 cm löng og 75 cm breið. Neðan á þessa plötu eru soðin 3/4" rör með 6 cm millibili (frá miðju á miðju). Þessi plata var látin hallast 31° meðan á tilrauninni stóð.

Tilraunaaðferðin

Blaut Mývatnsleðja sem innihélt um 84% vatn, var viktuð og sett í lausa tréramma, sem lagðir voru á stálplötuna. Innanmál rammanna var 10x10 cm. Í þessa ramma var jafnað, þannig að þykktin væri sem jöfnust. Á tilsettum tíma var leðjusýnishornið síðan tekið af, viktað, þurrkað við 105° í sólarhring og síðan viktað aftur. Hver ákvörðun út af fyrir sig fór fram á þennan hátt.

Rannsóknin

Á línuriti nr. 1 eru sýndar hinar beinu niðurstöður rannsóknarinnar. Tilraunin fór fram við gufuþrýsting, sem nam 5 aty. Valdar voru 3 leðjuþykkir, sem hver um sig var 3,5 cm, 1,7 cm og 1,1 cm. Þetta samsvaraði þeirri hleðslu miðað við þurrefni, sem hér segir: Mesta þykkt 6,05 kg pr. m², miðþykkt 2,96 kg/m² og minnsta þykkt 1,85 kg/m². Síðarnefndu tölurnar eru meðaltal þurrefnisins samkvæmt viktun eftir tilraunir.

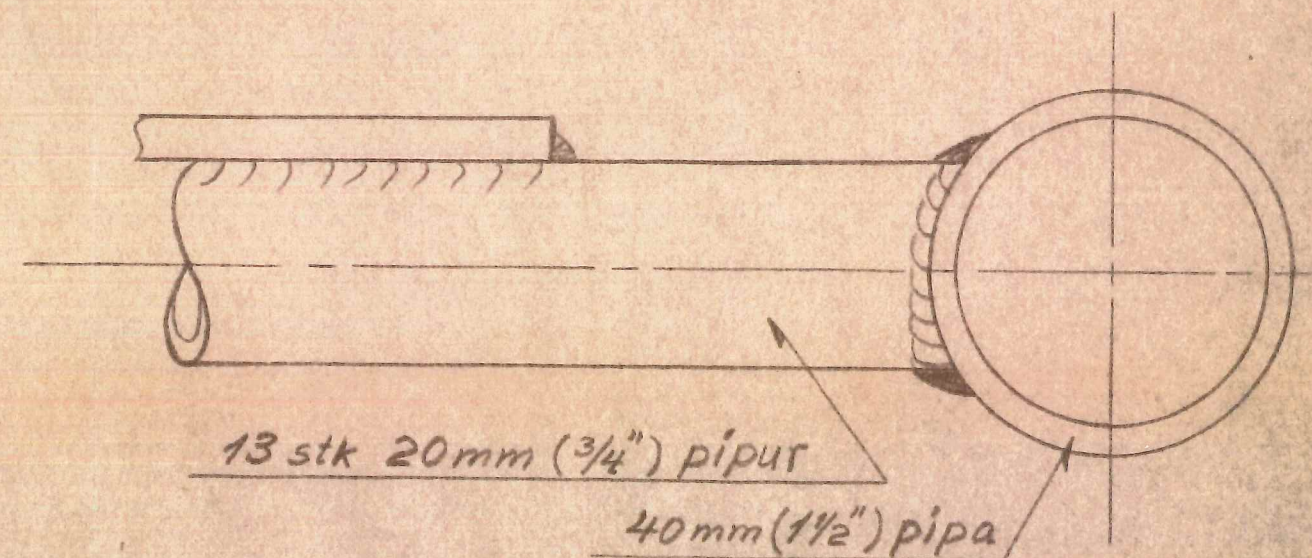
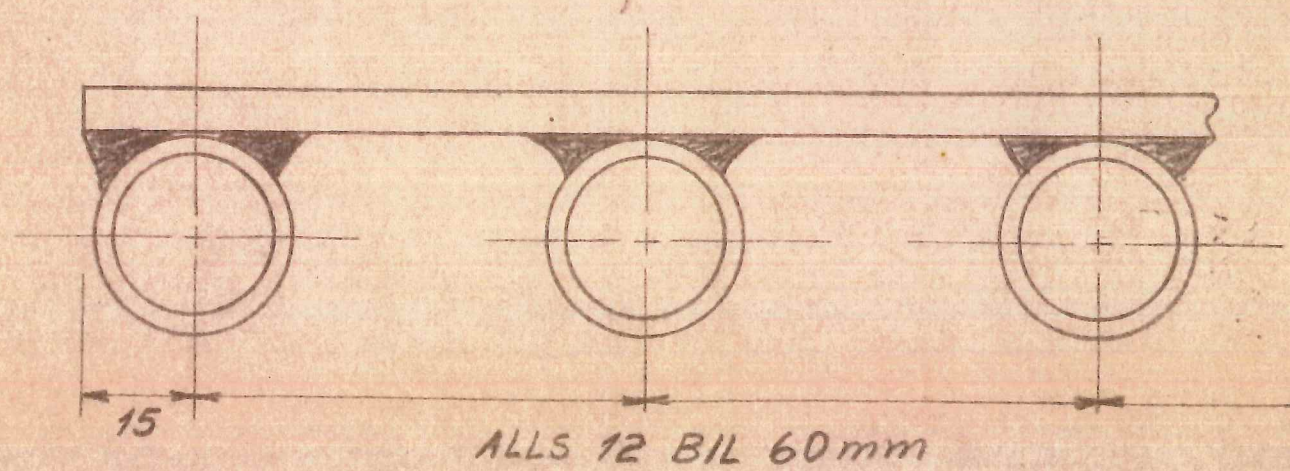
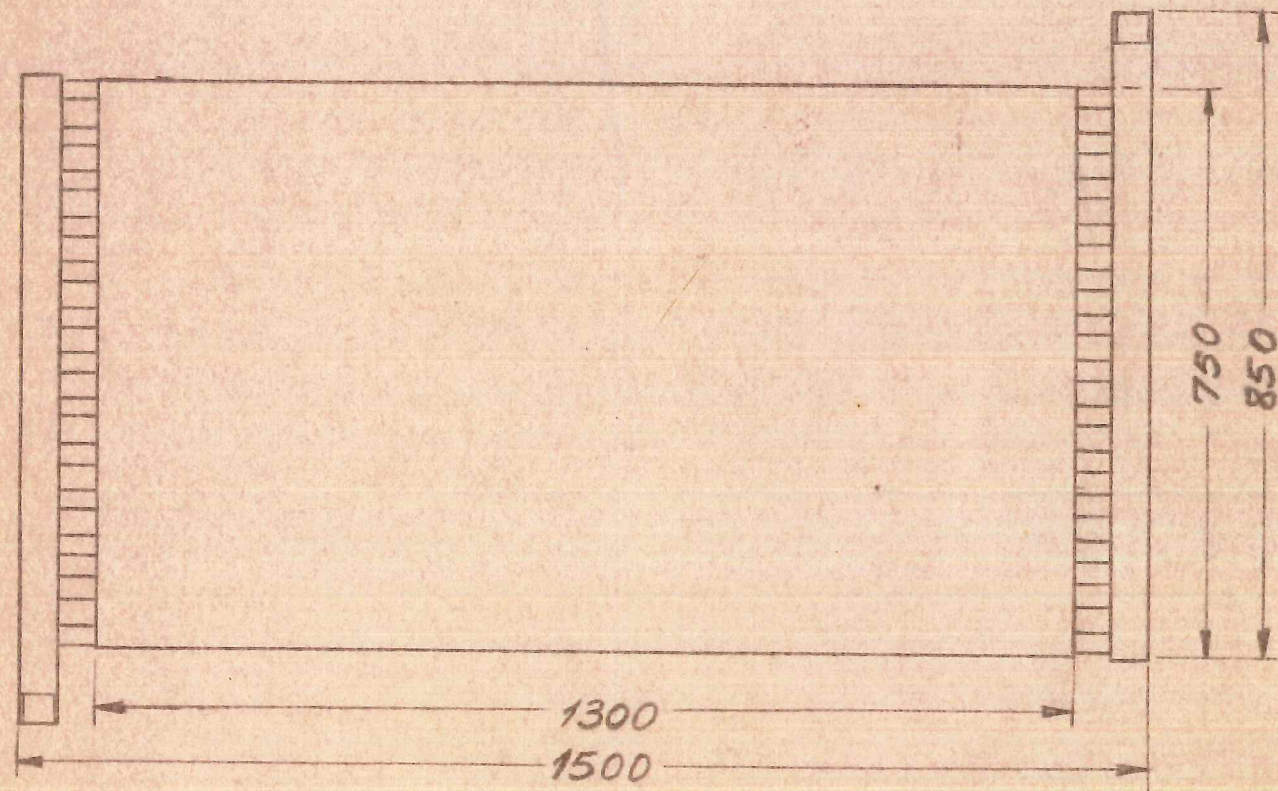
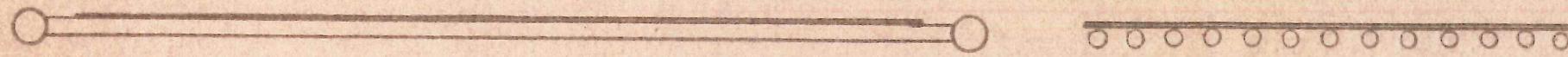
Mkv. 1:10

1:1

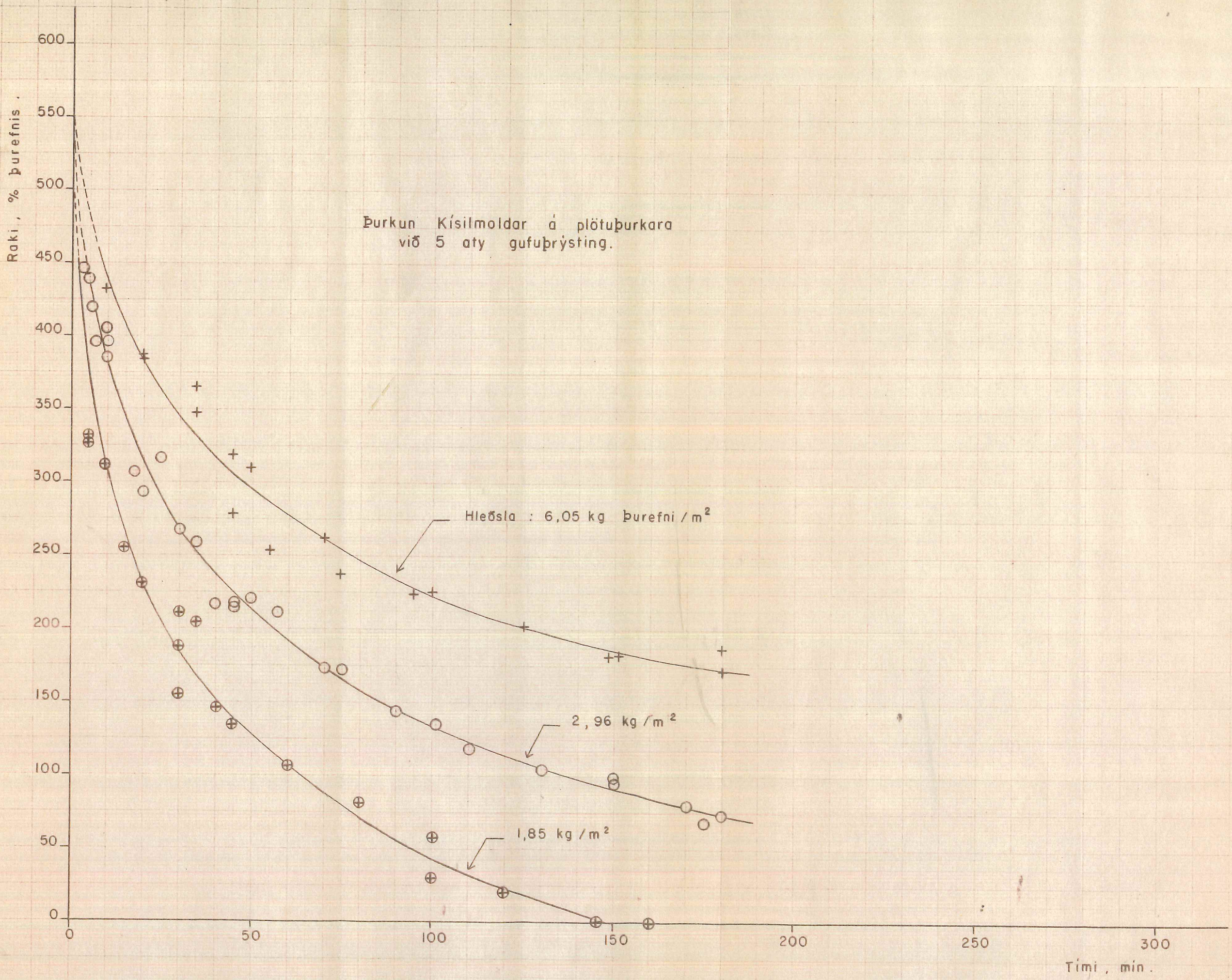
PLÖTUBURRKARI

FYRIR KÍSILMOLD

30-9-59 fj.



Nr. 1



No 2

RAFORKUMÁLASTJÓRI
Jarðhitadeild

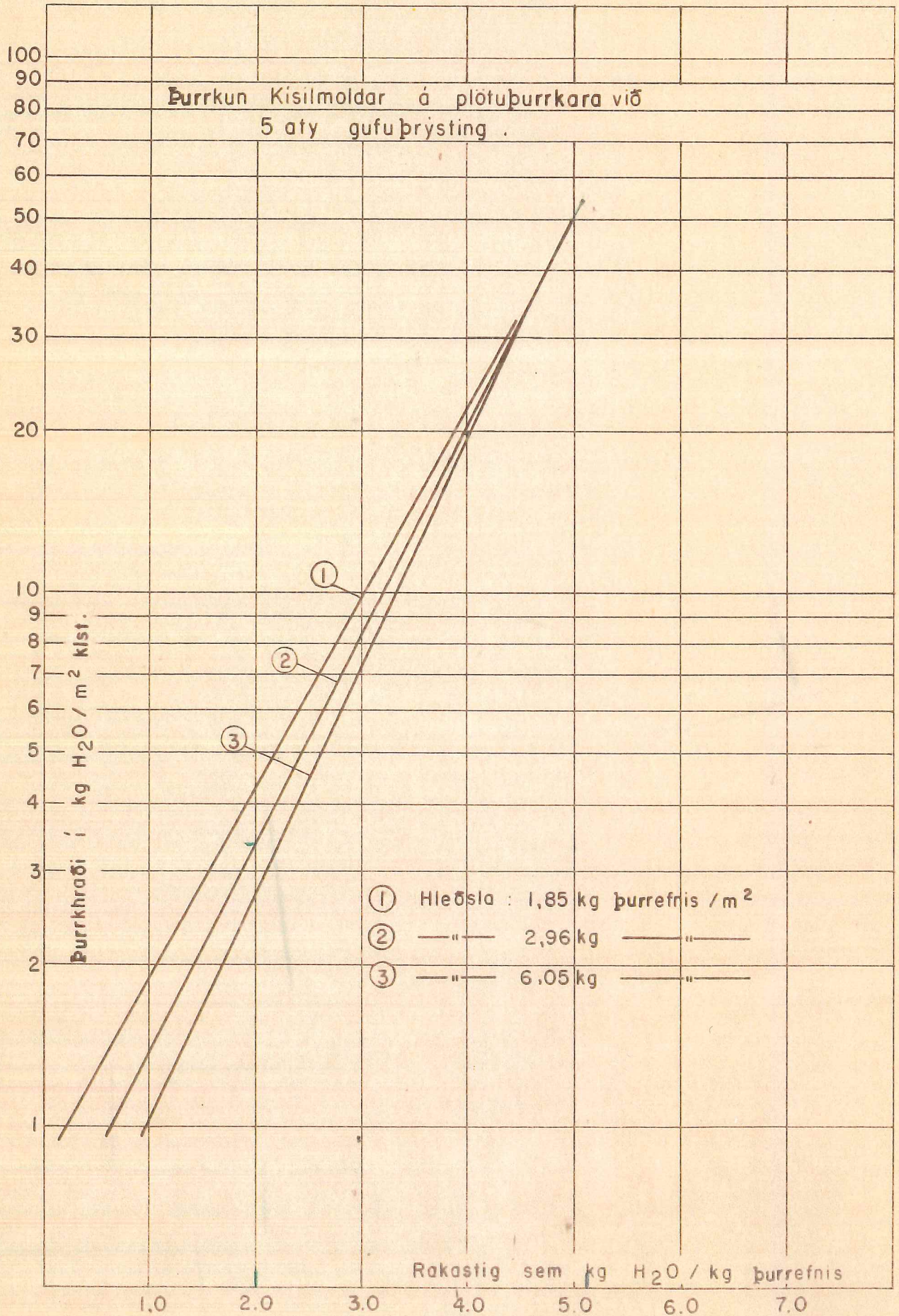
Þurrkun Kisilmoldar á plötuburrkara við
5 aty gufuþrýsting.

23.4.'60 B.L./O.H

Tnr. 75

J-Efnavinnsla.

Fnr. 5021



Frávik frá meðalútkomu er sjáanlega nokkuð í sumum tilfellum. Ástæðunnar til þess má fyrst og fremst leita til óreglulegra viðbragða sýnishornanna við þurrkunina. Á ég þó aðallega við misjafna snertingu við hitaflötin, sem stafar af skorpun og vindingi í sýnishorninu.

Í öðru lagi reyndist ekki unnt að hafa upphaflegu sýnishornin nákvæmlega eins að rakastigi til. Þetta atriði virtist þó ekki hafa veruleg áhrif sökum þess hve hröð þurrkunin er í byrjun.

Á línurit nr. 1 er rakinn, reiknaður á grundvelli þurrefnis, teiknaður á móti þurrktíma í mínútum. Þurrkhraðinn er áberandi mestur fyrst, meðan sýnishornin eru vel rök en fer síðan minnkandi eftir því sem sýnishornið þornar meira. Í stórum dráttum má segja, að þurrkhraðinn sé háður hitaleiðninni frá plötunni yfir í sýnishornið. Þessi leiðni fer minnkandi sökum þurrs kísilmoldarlags, sem fer vaxandi næst plötunni eftir því sem þurrkunin er meiri, og einnig vegna vindinga og lyftingar nokkurs hluta sýnishornsins frá plötunni.

Við 400% raka og þar yfir er allt sýnishornið áberandi blautt, en við það rakastig fer þó að bera á sambrætti í sýnishorninu. Frá 400% niður í 200% fer samdráttur vaxandi, lyfting á röndum sýnishornsins verður áberandi en sýnishornið heldur rakalít að ofan við 200% raka. Að neðan hefir myndast áberandi þurr skán ~~á~~ við það rakastig.

Við 175% fer þornun að valda verulegum litbreytingum að ofan. Við 125% raka er sýnishornið alþurrt að neðan og farið að þorna áberandi mikið að ofan. Við 100% sést ennþá dálítill rakalítur að ofan.

Hallinn á plötunni var 31° . Þetta reyndist vera hámark, því sýnishornunum hætti við að renna til í byrjun. Síðan er leið á þurrkunina, límdust þau við plötuna á köflum.

Reikna má út frá þessu línuriti að meðal þurrkhraði frá 550% raka niður í 170% raka er á þykkustu sýnishornunum (3,5 cm) $7,35 \text{ kg H}_2\text{O/m}^2$, klst., á miðsýnishorninu $9,65 \text{ kg H}_2\text{O/m}^2$, klst. og á þynnstu sýnishornunum (1,1cm) $12,4 \text{ kg H}_2\text{O/m}^2$, klst. Þurrkhraðinn er því dálítið meiri eftir því sem sýnishornin eru þynnri. Nánari athugun sýnir enn fremur að miðað við þykktarmismun er meiri munur á

miðsýnishornunum og þeim þynnstu heldur en er á miðsýnishornunum og þeim þykkustu. Þetta atriði kemur greinilega fram á línuriti nr. 2 þar sem þurrkhraðinn er teiknaður á móti rakastigi hálf logariðmisku kerfi. Koma þá fram beinar línur sem sýna að þurrkhraðinn er hér um bil sá sami á öllum sýnishornunum til að byrja með, en töluvert meiri á þynnri sýnishornunum en þeim þykkri í lokin. Þetta bendir til þess að ennþá þynnri sýnishorn en reynd voru hefðu meiri þurrkhraða en hér er greint frá. Hinsvegar var ekki unnt að prófa það sökum þess að svo þunnt lag er ekki hægt að gera án sérstakra tækja.

Prófað var að þurrka leöju með minni raka en aðalsýnishornin höfðu. Sýnishorn sem höfðu 320% raka og samsvöruðu hleðslu sem nam $3,0 \text{ kg/m}^2$ gáfu línu sem hafði miðað við rakastig 20 mín frávik frá samsvarandi aðallínu. En það tekur einmitt um 20 mín. að þurrka aðalsýnishornin frá 550% raka niður í 320% svo hér er um hreina tilfærslu að ræða á byrjunarpunkti á aðallínunni. Að sjálfsögðu verður meðalþurrkhraði á slíkum sýnishornum mun minni. Frá 320 niður í 170% verður hann hér $5,2 \text{ kg H}_2\text{O/m}^2$ klst. en var $9,65 \text{ kg H}_2\text{O/m}^2$ klst af votari sýnishornunum.

Reyndar var minni plötuhati en hafður var við aðalathugarnirnar (5 aty og 158°). Unnið var við 3 aty , sem svarar til 144° og $1,5 \text{ aty}$, sem svarar til 127° . Hleðslan var um $3,0 \text{ kg}$ þurrefnis pr. m^2 . Þurrkhraðinn reyndist mjög líkur og við hæsta hitastigið allt niður í 270% raka, en neðan við það rakastig fer að koma fram frávik. Það fer vaxandi og þurrktíminn er orðinn 30-45% meiri er rakinn kemur niður í 170%.

Niðurstöður

Þurrkhraði kísilmoldar á gufuhitaðri plötu er mjög mikill meðan rakastig sýnishornsins er hátt. Ofan við 450% rakastig er hann þannig meira en 30 kg H₂O/m², klst. Þurrkhraðinn lækkar síðan ört og er kominn niður fyrir 10 kg H₂O/m², klst. við 300% og niður fyrir 2 kg H₂O/m² klst við 100% rakastig. Þurrkhraðinn á þunnum sýnishornum er þó nokkru meiri en á þeim þykkari, er rakastigið tekur að lækka verulega. Hvað viðvíkur meðalþurrkhraða, benda þessar tilraunir því til þess, að hleðsla skuli vera lítil. Vegna hins mikla þurrkhraða meðan sýnishornin eru mikið vot, styttist þurrktíminn fremur lítið þótt byrjunarrakastig sé minna en það er við hinar náttúrlegu aðstæður (500-550%) Lágur gufuþrýstingur hefir ekki seinkandi áhrif fyrr en sýnishornin fara að þorna töluvert.

Baldur Lindel

Haustið 1959 hófst undirbúningur að tilraunum með þurrkun á kísilleöju úr Mývatni. Ákveðið var að prófa tvær tegundir af þurrkurum:

- A. Plötupurrkara, sem er teiknaður hér á jarðhitadeildinni með það markmið að hagnýta jarðgufu til þurrkunar á blautri kísilleöju og hefur ekki svo vitað sé verið notaður áður.
- B. Röraþurrkara af þýzkri gerð, sem notaður er einkum til þurrkunar á brúnkolum í Þýzkalandi. Þessi þurrkari er hér ætlaður til þurrkunar á kísilleöju, sem er orðin svo þurr að hægt er að mala hana.

Gert er ráð fyrir að þessar tvær gerðir af þurrkurum vinni saman þannig að leðjan sé fyrst þurrkuð á plötupurrkaranum, þar til hún er orðin nógu þurr til að hægt sé að mala hana. (ca. 1,5 - 2 kg vatn/kg þurrefni). Síðan tekur röraþurrkarinn við og fullþurrkar leðjuna niður í ca. 0,10 kg vatn/kg þurrefni. Hér á eftir verður eingöngu rætt um röraþurrkarann og mælingu á afköstum hans.

Tilraunatæki og aðferð

Röraþurrkarinn er þannig gerður, að yzt er sívöl kápa með botnum í báðum endum. Innan í kápunni eru svo margar pípur, sem ganga út í gegnum endana, þannig að pípurarnar eru alveg opnar í gegn. Inn í kápuna er svo leidd gufa, sem þá umlykur pípurarnar að utanverðu og hitar þær upp. Efnið, sem á að þurrka, er svo leitt inn í pípurarnar og færast í gegnum þær, þegar þurrkarinn veltur um lengdarás sinn, sem hallast hæfilega mikið til þess að efnið þorni hæfilega á leiðinni í gegn. Á þennan hátt fæst góð snerting hitaflatarins við efnið í þurrkaranum og þá um leið góð nýting, enda hefur það sýnt sig í Þýzkalandi að þessi gerð þurrkara gefur góð afköst.

Til mælinganna var smíðaður einfaldur þurrkari, aðeins ein 6" pípa hituð með gufu.

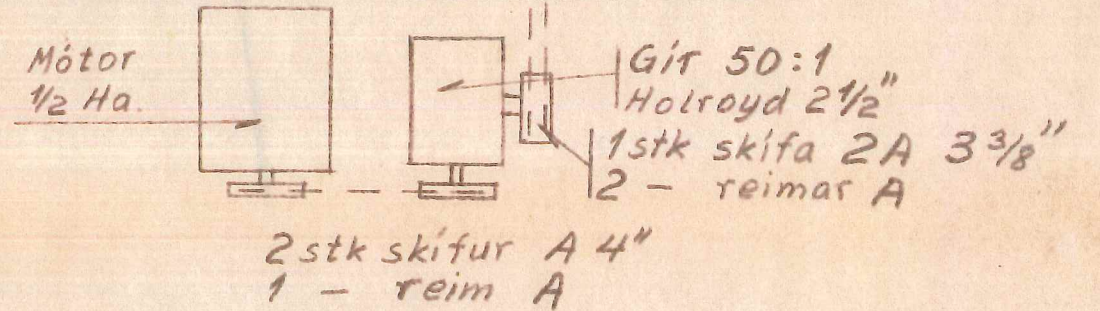
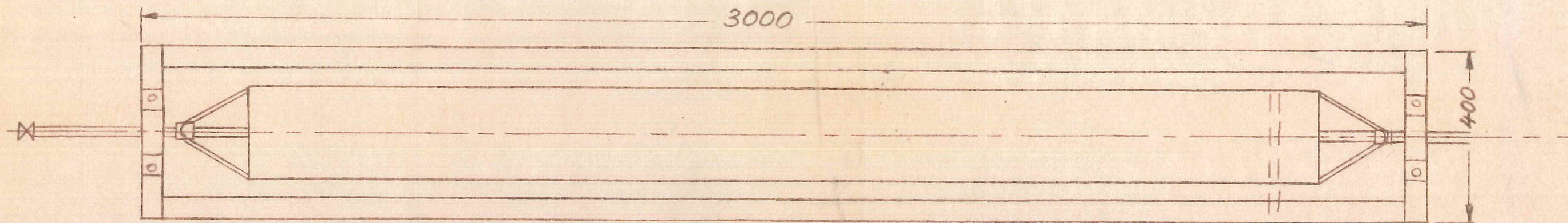
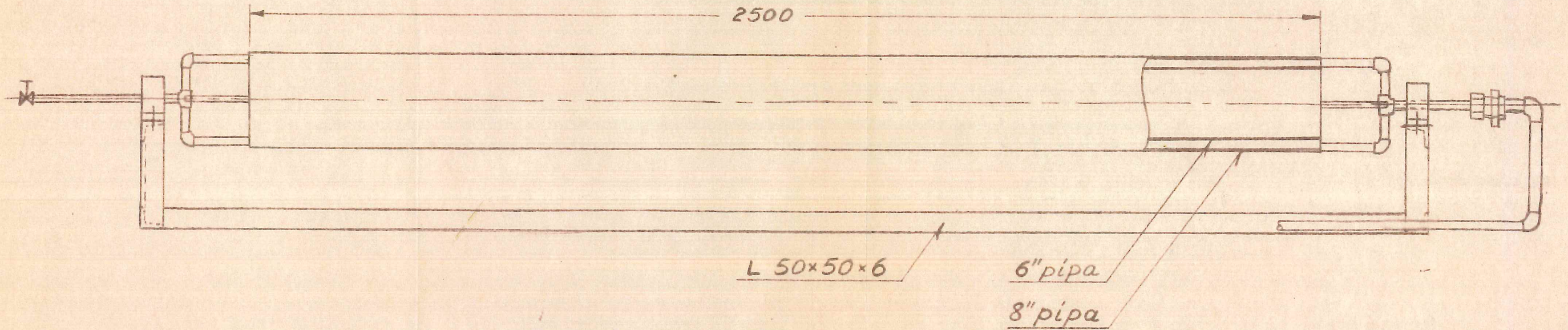
Prufuþurrkarinn er sýndur á meðfylgjandi teikningu. Þurrkarinn fékk gufu frá gufukatli í Keldnaholti. Ketillinn var stilltur þannig að þrýstingurinn hélst á 4 - 5 ató. Gufan þéttist svo í þurrkaranum við þennan þrýsting og tilsvarendi hitastig, sem er um 150°C. Þurrkarinn er drifinn með rafmótor í gegnum snekkjudrif 1 : 50 og kílreimar. Snúningshraðinn var nákvæmlega 12 snúningar á mínútu.

Efnismagnið, sem fór í gegnum þurrkarann var temprað með því að breyta hallanum og athuga fyrir hverja stillingu, hve mikill raki var í efninu, þegar það kom í gegn. Þannig var leitast við að finna rétta hallann og ákvarða afköst þurrkarans. Til þess að auka efnismagnið, sem var í þurrkaranum í einu, voru settir hringir í enda innri pípunnar. Þá var meiri hluti hitaflatarins þakinn með kísilefninu og varmayfirfærslan jafnari. Það er mjög áriðandi að moka jafnt í þurrkarann, svo að alltaf sé jafnmikið efni á leið í gegnum hann. Þá kemst jafnvægi á þurrkarann og afköstin verða jöfn

Mkv. 1:10

RÖRADURRKARI
FYRIR KÍSILMOLD

25-9-59 *JJ*



og niðurstöður ábyggilegar. Það kom í ljós að auðveldara er að halda jöfnum afköstum, þegar hringirnir eru í pípunni, og má þess vegna reikna með að þær tölur, sem fengnar voru eftir að þeir voru settir í, séu ábyggilegri en þær fyrstu. Fyrstu tölurnar eru fengnar við of mikinn efnishraða í gegnum þurkarann og hafa þess vegna minni þýðingu í sambandi við útreikninga á þurrkara til notkunar í kísilgúrverksmiðju. Þurktilraunirnar hófust seint í febrúar. Þær voru framkvæmdar á eftiffarandi hátt:

Tekin var kísilleðja úr hrúgu í Keldnaholti (efni frá dælingunni við Mývatn) og síuð gegnum sandsíu til að losna við alla köggl. Þannig fékkst fín malað efni með rakainnihaldi 1,2 til 1,5 kg/kg þurrefni. Þetta var látið í kassa, blandað vel saman og síðan tekin sýnishorn og vigtuð 100 g. Síðan var mokað jafnt og þétt í þurkarann allan tímann, sem tilraunin stóð hverju sinni. Þegar komið var svo mikið í þurkarann að jafnvægi skapaðist og jafnmikið kom út úr honum og mokað var í hann, var þurkaða efnið látið safnast í kassa og síðan vigtað hve mikið kom í gegn á mínútu. Vigtað var í einu það sem fór í gegn á 1 1/2 til 3 mínútum til að fá nóg magn til að taka 100 g sýnishorn af í hvert skipti. Þessi 100 g sýnishorn voru tekin til þess að ákvæða rakastig efnisins R_1 fyrir og R_2 eftir þurkun. Sýnishornin voru þurkuð í þurkaskáp við 105°C í ca. 20 klst. og síðan vigtuð aftur og þannig fundið þurrefnismagnið í þeim hverju um sig. Þannig finnst með vigtnum á sýnishornum, teknum fyrir og eftir þurkun, hve mikið vatn $R_1 \div R_2$ kg vatn/kg þurrefni hefur gufað burt í þurkaranum. Með vigtnum á því, sem úr þurkaranum kemur, ásamt ákvörðun á rakainnihaldi þess R_2 , finnst hve mikið þurrefni G g/mín fer í gegnum þurkarann.

Niðurstöður

Í töflu 1 eru sýndar niðurstöðutölur þessara mælinga. Línurit I sýnir sambandið á milli þurrefnismagnsins, sem fer í gegnum þurkarann, og afkasta þurkarans, reiknað í kg vatns uppgufað á m^2 á klst. Miðað er við heildarhitafloð þurkarans, en aðeins hluti hans er þakinn af kísilefninu í einu, þegar þurkarinn snýst. Línurit II sýnir sambandið á milli afkasta þurkarans og rakastigs leðjunnar eftir þurkun. Við athugun á línuriti II kemur í ljós, að þegar rakastig leðjunnar er yfir 10% (0,10 kg vatn/kg þurrefni) eftir þurkun, eru afköst þurkarans meira en $4 \text{ kg/m}^2\text{h}$, en þegar rakastigið verður lægra, fara afköstin minnkandi, en haldast þó yfir $3,5 \text{ kg/m}^2\text{h}$ allt niður í ca. 2% raka. Afköst þurkarans fara einnig eftir því, hve mikið efni er í honum í einu. Því meiri hluti þurkflatarins, sem þakinn er kísilefninu, verður þurkunin jafnari og afköstin meiri, að öðru jöfnu.

MÆLINGAR Á AFKÖSTUM RÖRAÞURRKARA
FYRIR KÍSILMOLD ÚR MÝVATNI

TAFLA I

Dagsetning	Til- raun nr.	Rakastig		Fjarlæggt vatn g/min	Afköst þurrkara		Athugasemdir
		kg vatn/kg þurrkunar	Eftir þurrkun		þurrrefni g/min	Fjarl.vatn kg/m ² h	
25 - 2 - 60	1	1,46	1,04	78,1	186,0	3,97	Halli á þurrkara 1 : 19,6 (2,9°) Pípan alveg opin, engin hindrun
	2	1,48	0,895	95,0	161,0	4,84	
	3	1,470	1,020	89,5	198,5	4,55	
29 - 2 - 60	1	1,380	0,740	72,4	113,0	3,68	Halli þurrkara 1 : 30,6 (1,9°) engin hindrun
	2	1,380	0,725	81,2	124,0	4,13	
1 - 3 - 60	1	1,440	0,504	99,4	106,0	5,05	Halli 1 : 30,6 (1,9°) engin hindrun
	2	"	0,439	80,5	80,3	4,10	
	3	"	0,307	120,5	106,2	6,02	
	4	"	0,527	94,0	103,0	4,79	
7 - 3 - 60	1	1,440	0,516	97,0	105,0	4,94	Halli 1 : 30,6 (1,9°) Setti hring Di = 110 mm í efri endann
	2	"	0,516	95,0	103,0	4,84	
	3	"	0,516	72,5	78,5	3,69	
	4	"	0,389	106,3	101,2	5,41	
	5	"	0,492	92,7	97,9	4,72	
10 - 3 - 60	1	1,355	0,429	101,4	109,4	5,16	Halli 1 : 30,6 (1,9°) Hringir Di = 110 mm í báðum endum
	2	"	0,493	91,4	106,9	4,65	
	3	"	0,429	93,5	101,0	4,76	
	4	"	0,471	92,8	105,0	4,72	
	5	"	0,504	80,9	95,0	4,11	

MÆLINGAR Á AFKÖSTUM RÖRAÞURRKARA
FYRIR KÍSILMOLD ÚR MÝVATNI

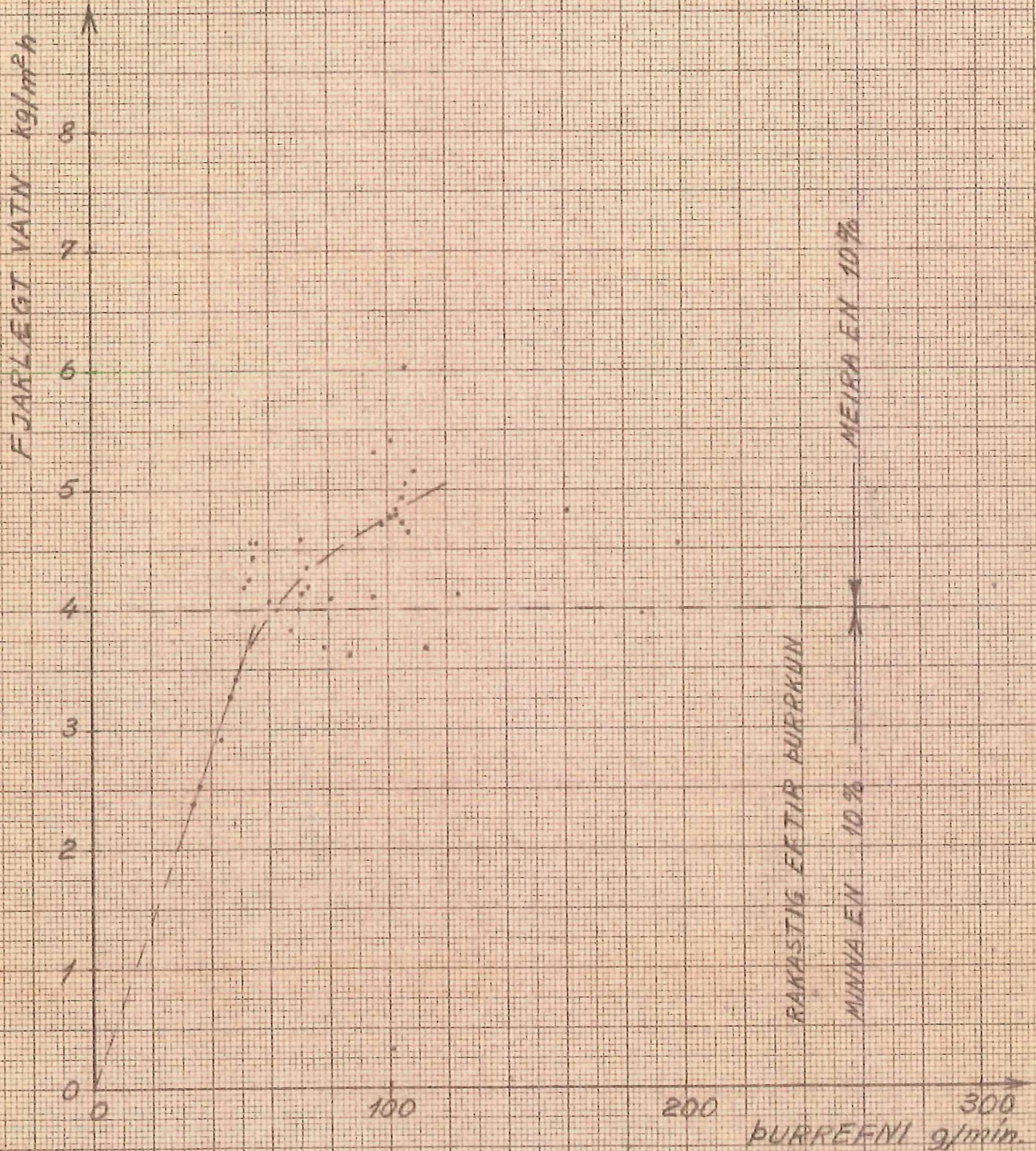
TAFLA I, framh.

Dagsetning	Tilraun nr.	Rakastig		Fjarlæggt vatn g/mín	Afköst þurrkara Þurrrefni g/mín	Fjarlæggt vatn g/mín	Afhugsemdir Snúningshraði : 12 sn/mín
		kg vatn/kg þurrkara	Eftir þurrkun				
14 - 3 - 60	1	1,390	0,010	49,7	36,0	49,7	Halli 1 : 72,5 (0,80)
	2	-	0,012	57,1	43,7	57,1	Hringir í báðum endum
	3	-	0,005	64,5	46,6	64,5	-
	4	-	0,015	46,8	34,0	46,8	-
	5	-	0,005	67,1	48,5	67,1	-
24 - 3 - 60	1	1,440	0,258	85,5	72,4	85,5	Halli 1 : 49,2 (1,20)
	2	-	0,183	78,5	62,5	78,5	Hringir í báðum endum
	3	-	0,159	90,2	70,4	90,2	-
	4	-	0,105	80,0	60,0	80,0	-
	5	-	0,087	73,2	54,1	73,2	-
1 - 4 - 60	1	1,228	0,101	78,5	70,0	78,5	Hallir 1 : 49,2 (1,20)
	2	-	0,136	104,4	95,5	104,4	Hringir í báðum endum
	3	-	0,105	82,5	73,3	82,5	Bleyttir leir, sem áður
	4	-	0,087	81,1	71,0	81,1	hafði verið þurrkaður
	5	-	0,111	75,0	67,3	75,0	-
6 - 4 - 60	1	1,820	0,143	89,7	53,5	89,7	Halli 1 : 49,2 (1,20)
	2	-	0,227	82,2	51,5	82,2	Hringir í báðum endum
	3	-	0,212	87,1	54,3	87,1	Bætti vatni í leirinn
	4	-	0,212	89,6	55,8	89,6	úr hrúgunni eins og hægt var
	5	-	0,242	83,5	53,0	83,5	-

L'INURIT I

AFKÖST RÖRABURRKARA FYRIR KÍSILMOLD

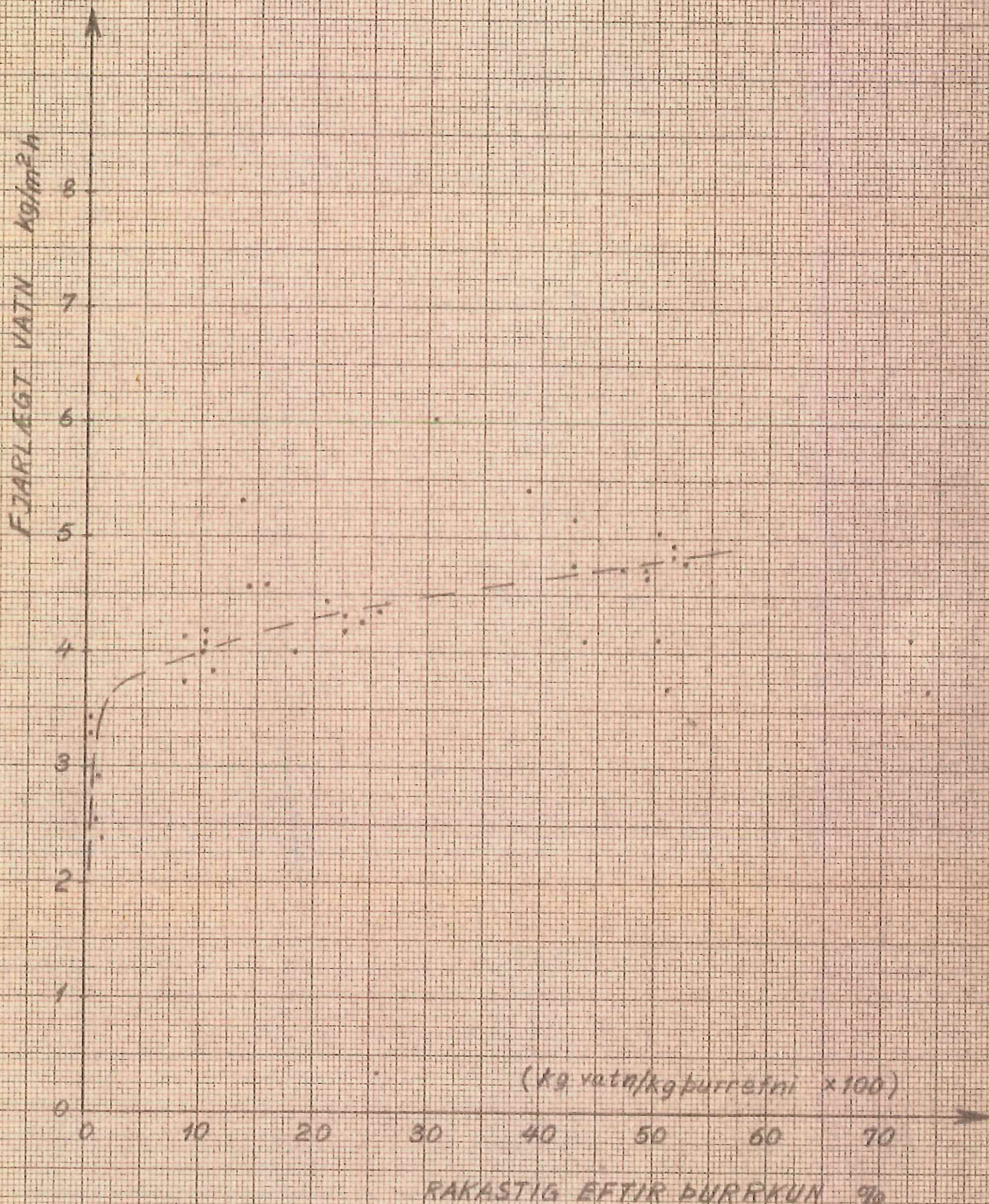
20-4-60 FJ



L'INURIT II

AFKÖST RÖRABURRKARA FYRIR KÍSILMOLD

22-4-60 *F.J.*



Lauslegir útreikningar á þurrkara fyrir 10.000 tonn af kísilgúr á ári (7000 tonn síugúr og 3000 tonn áburðargúr)

Sé gert ráð fyrir að kísilleirinn sé fyrst þurrkaður niður í ca. 1,5 kg / kg þurrefni í röraþurrkaranum, þarf hann að fjarlægja 1,4 kg / kg þurrefni. Miðað við framleiðslu á síugúr hefur verið áætlað að alls fari 2,6 kg þurrefni óhreinsað í gegnum þurrkara fyrir hvert kg af hreinum síugúr. Hæfilegt er að reikna með að framleiðslan á síugúr sé um 1,5 tonn á klst. Vatnsmagnið, sem þarf að fjarlægja í röraþurrkaranum, er þá:

$$1,5 \cdot 2,6 \cdot 1,4 = \underline{5,46 \text{ tonn á klst.}}$$

Samkvæmt niðurstöðum mælinganna má telja öruggt að afköst röraþurrkarans séu að minnsta kosti 4 kg/m²h þegar þurrkað er úr 1,50 niður í 0,10 kg vatn/kg þurrefni. Ef miðað er við 4 kg/m²h þarf hitaflötur þurrkarans að vera

$$F = 5640 : 4 = \underline{1365 \text{ m}^2}$$

Til þess að gefa nokkra hugmynd um stærð þurrkarans skal hér tekið dæmi:

Ef notaðar eru 4" pípur þarf heildarlengd þeirra að vera 4340 m. Ef þurrkarinn er 6 m langur, þarf hann að rúma 725 pípur og til þess þarf þvermál hans að vera um 5 metrar. Ef lengd þurrkarans er 7 m þarf 620 pípur og þvermálið yrði þá 4,5 m

Þurrkarinn gæti þá t.d. verið eins og hér segir.

	A.	B.
Hitaflötur	1365 m ²	1365 m ²
Lengd	6,0 m	7,0 m
Þvermál kápu	5,0 m	4,5 m
Pípufjöldi (4")	725 stk.	620 stk.
Halli (við 12 sn/mín)	ca. 4,3°	ca. 5,0°
Þyngd (tómur)	ca. 75 tonn	ca. 75 tonn

Hér er miðað við að pípurarnar séu alveg opnar í gegn, engir uggar eða annað til að hræra í leirnum, aðeins hringir í endum pípanna til að auka hleðsluna og þar með afköstin.

Ætla má að þurrkari af þessari gerð kosti um 2000 kr/m² eða um 2,75 = 3 millj.kr.