

**Skýrsla nr. 04-10**

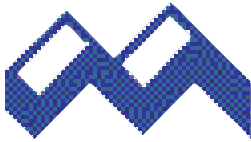
# **Sáldurgreining smárra korna í steinefnasýnum**

***Arnpór Óli Arason og Ásbjörn Jóhannesson***

***Unnið fyrir:***

***Rannsókn- og þróunarsjóð Vegagerðarinnar***

***Keldnaholt, september 2004***



## SKÝRSLA

Skýrsla nr: 04-10

Rb/SfB

12

Yp1

(H)

Dreifing:

Opin

Lokuð

UDK: 691.2

<b>Heiti skýrslu:</b> <b>SÁLDURGREINING SMÁRRA KORNA Í STEINEFNASÝNUM</b> <b>Samanburður á sáldurgreiningum með flotvog og ljörva</b>	<b>Dags.:</b> <b>September 2004</b>
<b>Höfundar:</b> <b>Arnpór Óli Arason og Ásbjörn Jóhannesson</b>	<b>Fjöldi síðna:</b> <b>18 + 4 viðaukar</b>
<b>Deild:</b> <b>Vegtæknideild</b>	<b>Fagleg ábyrgð:</b> <b>PP</b>
	<b>Rannsóknúmer:</b> <b>V03-10</b>

**Unnið fyrir:**  
**Vegagerðina**

**Samantekt:**

Meginefni skýrslunnar er samanburður á tveim aðferðum til að greina sáldurferil smárra korna í steinefnasýnum. Greiningaraðferðirnar eru flotvogar- (hydrometer-)mæling og kornastærðamæling með ljörva (laser).

Alls voru greind 47 sýni, flest af dæmigerðum malarslittlagsefnum. Samanburðurinn nær aðeins til þess hluta sýnanna sem smýgur 125 µm sikti. Öll sýnin voru greind með flotvogaraðferðinni og þurrgreiningu í ljörva, en að auki voru 14 sýni greind með votgreiningu í ljörva. Skiptingu sýna í smærri hluta til prófunar var ábótavant, sem kann að hafa ýkt mismun á niðurstöðum mismunandi greiningaraðferða.

Helstu niðurstöður eru þessar:

Sáldurgreiningu með flotvog ber ekki sérlega vel saman við greiningu í ljörva, bil milli sáldurferla er allt upp í 15-20 prósentustig þar sem hann er mestur. Sama er að segja um niðurstöður þurr- og votgreiningar í ljörva, þó er mismunurinn heldur minni eða 10-15 prósentustig. Þessi frávik geta að einhverju leyti stafað af því að sýnunum var ekki skipt eftir ströngustu reglum.

Að jafnaði mælist leirinnihald eilítið hærra með flotvog en ljörva. Báðar aðferðir mæla svipað syltarinnihald.

Mælingar á sumum sýnanna benda til þess að mælingar með flotvog geti verið óáreiðanlegar á grófari kornum en 30-40 µm. Frávika af þessu tagi er getið í heimildum.

Þrátt fyrir þennan mismun á niðurstöðum eftir mæliaðferðum er hann minni en svo að líklegt geti talist að hann muni ráða úrslitum þegar notagildi fyllingar og burðarlagsefna er metið samkvæmt verklýsingum Vegagerðarinnar.

Frekari samanburðarmælingar af þessu tagi samkvæmt nákvæmari verklýsingum eru í undirbúningi.

**3 lykilorð: Á íslensku****3 lykilorð: Á ensku**

<b>Sáldurgreining</b>	<b>Particle size analysis</b>
<b>Ljörvi</b>	<b>Laser</b>
<b>Greiningaraðferð</b>	<b>Test method</b>

## FORMÁLI

Í þessari skýrslu eru kynntar niðurstöður samanburðar á tveimur aðferðum til að mæla sáldurferil smárra kornastærða; annars vegar flotvog og hins vegar ljörva (laser). Fyrirnefnda aðferðin hefur verið notuð um langt skeið á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, en er tafsöm. Þar sem mælingar af þessu tagi eru snar þáttur í margskonar mati á eiginleikum sumra byggingarefna eins og til dæmis steinefnum til vegna- og gatnagerðar, kalki og sementi svo nokkuð sé nefnt, var orðið brýnt að útvega fljótvirkari tæki. Með þetta í huga festi Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins kaup á tækjasamstæðu frá SympaTec GmbH sem getur gert mælingar af þessu tagi á mjög stuttum tíma. Þar sem mælingar með þessum tveimur aðferðum byggjast á gerólíkum eðlisfræðilögmálum, þótti æskilegt að gera samanburðarmælingar á nokkrum völdum efnum áður en ljörvinn tæki við af flotvoginni til að ganga úr skugga um að niðurstöður mæliaðferðanna væru fyllilega sambærilegar.

Samanburðarmælingar á þessum aðferðum hafa ekki verið gerðar áður hérlendis svo vitað sé og þaðan af síður á íslenskum steinefnum. Erlendis hafa verið gerðar margskonar samanburðarmælingar af þessum toga og í skýrslunni eru raktar niðurstöður nokkurra þeirra.

Meginefni skýrslunnar fjallar um mælingarnar og niðurstöður þeirra. Einnig er gerð nokkur grein fyrir tækjabúnaðinum og sett fram tillaga að verklýsingu fyrir mæliaðferðina. Þá er greint í stuttu máli frá nokkrum atriðum úr heimildakönnun sem gerð var jafnhliða mælingunum. Heimildakönnunin er takmörkuð við fáeinar greinar og er því engan veginn tæmandi. Af tæknilegum ástæðum eru niðurstöður samanburðarmælinganna ekki ótvíræðar; ályktanir af þeim eru þess vegna dregnar með fyrirvara. Hvort tveggja, heimildakönnunin og samanburðarmælingarnar, hafa þess vegna takmarkað gildi sem grundvöllur að ályktunum. Meginniðurstaðan er þó sú að mælingar með ljörva séu nægilega áreiðanlegar til að svara spurningum um sáldurferil steinefna sem eru smærri en 100  $\mu\text{m}$  eða svo og þar með hæfni til að uppfylla kröfur í algengum verklýsingum, þar á meðal Vegagerðarinnar, að svo miklu leyti sem slíkar kröfur snerta sáldurferil.

Í skýrslunni er reynt eftir föngum að nota íslensk orð yfir hugtök sem þar koma fyrir, en sum þeirra kunna að virðast framandi. Orðin eru flest sótt í Orðabanka íslenskrar málstöðvar, en fáein voru heimasmiðuð þegar hann þraut. Mörg þessara orða eru skýrð neðanmáls, oft með tilvísun í ensk orð yfir sama hugtak.

Langmestur hluti hefðbundinna mælinga á sáldurferli var gerður á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins af þeim Kára Eysteinsyni og Oddi Þórðarsyni en að öðru leyti af Guðmundi Ívarssyni á rannsóknastofnu Vegagerðarinnar í Reykjavík. Arnþór Óli Arason sá um allar mælingar í ljörva. Rannsókn- og þróunarsjóður Vegagerðarinnar kostaði þessa rannsókn að hálfu á móti Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins.



## EFNISYFIRLIT

<b>FORMÁLI</b>	<b>1</b>
<b>1. INNGANGUR</b>	<b>5</b>
<b>2. SÁLDURGREIÐING SMÁRRA KORNA Í STEINEFNASÝNUM</b>	<b>5</b>
2.1 Greiningaraðferðir	5
2.2 Samanburður á greiningum með ljörva og flotvog	8
2.3 Ályktanir af heimildakönnun	10
<b>3. EFNIVÍÐUR OG MÆLIÐFERÐIR</b>	<b>11</b>
3.1 Mælitæki og mæliðferðir	11
3.2 Sýni og tilhögun mælinga	11
3.3 Niðurstöður mælinga	12
<b>4. ÍGRUNDUN OG ÁLYKTANIR</b>	<b>13</b>
<b>HEIMILDIR</b>	
<b>MYNDIR</b>	
Mynd 2.1: Skýringarmynd af tækjabúnaði fyrir kornastærðagreiningu á grundvelli bylgjubeygju	6
Mynd 4.1: Mismunur á sáldurferlum mældum með ljörva og flotvog	13
Mynd 4.2: Mismunur á sáldurferlum eftir þurra og vota mælingu í ljörva	14
Mynd 4.3: Dreifing mismunar á mælingu með flotvog annars vegar og ljörva hins vegar	15
<b>TÖFLUR</b>	
Tafla 2.1: Nákvæmni þriggja mæliðferða til að ákvarða sáldurferil	10
<b>VIÐAUKAR</b>	
Viðauki 1: Ákvörðun sáldurferils með ljörva. Drög að verklýsingu.	
Viðauki 2: Sýna- og prófanaskrá.	
Viðauki 3: Niðurstöður mælinga.	
Viðauki 4: Áhrif tvístrunar á niðurstöður mælinga.	



## 1. INNGANGUR

Á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins hefur mæling á sáldurferli smárra kornastærða (smærri en  $63 \mu\text{m}^1$ ) í jarðsetum og steinmulningi um langt skeið verið gerð með flotvog (hydrometerprófi) skv. ASTM D422-63 [ASTM 1999]. Þessi aðferð hefur verið notuð víða um lönd um langt skeið og er þrautreynd. Hún er hins vegar tafsöm, fyrir utan nauðsynlegan undirbúning svo sem siktun, tekur prófunin sjálf 2-3 sólarhringa. Þar að auki krefst framkvæmd hennar vandvirkni og talsverðrar þjálfunar.

Af þessari ástæðu hefur Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins lengi haft augastað á einfaldari og sér í lagi fljótvirkari aðferð. Árið 1999 festi stofnunin kaup á tækjasamstæðu frá Sympatec GmbH, sem mælir dreifingu korna á bilinu 0,1-10.000  $\mu\text{m}$ . Meginhlutar samstæðunnar eru matari fyrir sýnið, tvístrunareiningar (ómskekja<sup>2</sup> fyrir tvístrun og mælingu í vökva, þurrtvístrun fyrir mælingu í loftstraumi), mælieining og tölva. Mæling í samstæðunni byggist á eðlisfræðilegu fyrirbæri, sem verður þegar ljósgeisli verður fyrir hindrun á leið sinni og heitir bylgjubeygja<sup>3</sup>. Mælieiningin gerir sér tvívíða mynd af hverju einstöku korni í sýninu, og reiknar út þvermál kúlu sem svarar til þessarar myndar. Prófunin er næstum sjálfvirk eftir að hæfilega stórt sýni hefur verið undirbúið og sjálf mælingin tekur aðeins nokkrar mínútur. Allar stillingar eru gerðar með hjálp tölvu og varðveitast þar ásamt niðurstöðunum.

Þessar tvær mæliaðferðir, flotvog og beygjugreining, byggjast á tveimur gerólíkum eðlisfræðilegum lögmálum og mæla ekki sama eiginleikann, þótt niðurstöðurnar megi nota til að meta sáldurferil sýnisins. Í annan stað hefur beygjugreiningu ekki verið beitt áður, svo vitað sé, til mælinga á sáldurferli sýna af íslenskum steinefnum. Af þessum sökum var ákveðið að bera saman mælingar á allmörgum sýnum, annars vegar með flotvog, hins vegar með einni eða fleiri þeirra prófunaraðferða sem mæling með beygjugreiningu býður upp á.

Meginefni skýrslunnar fjallar um mælingarnar og niðurstöður þeirra. Auk þess er greint í stuttu máli frá nokkrum atriðum úr heimildakönnun sem gerð var jafnhliða mælingunum. Einnig er gerð nokkur grein fyrir tækjabúnaðinum og sett fram tillaga að verklýsingu fyrir mælingar í ljörva<sup>4</sup>, sem þó er gert ráð fyrir að verði endurskoðuð þegar meiri reynsla er fengin af mælingunum. Hvað samanburðarmælingarnar snertir þá eru þær gerðar á sýnum sem engin vissa er fyrir að séu alsöm<sup>5</sup> þótt þau séu af sama uppruna. Heimildakönnunin er takmörkuð við fáeinar greinar og er því engan veginn tæmandi. Hvort tveggja, heimildakönnunin og samanburðarmælingarnar, hafa þess vegna takmarkað gildi sem grundvöllur að ályktunum.

## 2. SÁLDURGREINING SMÁRRÁ KORNA Í STEINEFNASÝNUM

### 2.1 Greiningaraðferðir

Fjölmargar aðferðir hafa verið notaðar til að mæla kornastærðadreifingu á fíngerðu steinefni. Meðal þeirra eru flotvog<sup>6</sup>, aðferðir sem byggjast á notkun mælípípu<sup>7</sup>,

<sup>1</sup>  $\mu\text{m}$  (míkrómetri):  $1\mu\text{m}$  er einn þúsundasti hluti úr millimetra.

<sup>2</sup> Ómskekja; á ensku: *ultrasonic disperser*.

<sup>3</sup> Bylgjubeygja; á ensku: *diffraction*.

<sup>4</sup> Ljörvi; á ensku: *laser*, notað hér um tækjabúnaðinn í heild, þótt ljörvinn sé aðeins einn hluti hans.

<sup>5</sup> Alsamur; á ensku: *identical*.

<sup>6</sup> Flotvog; á ensku: *hydrometer*.

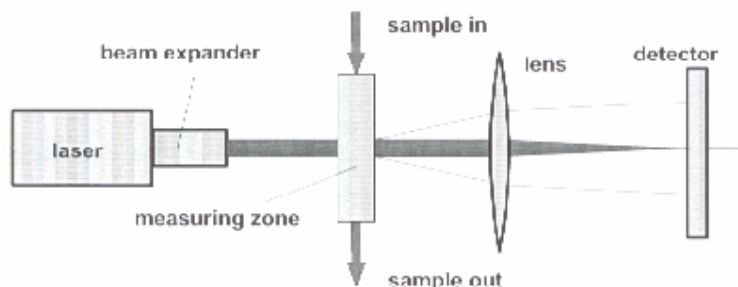
<sup>7</sup> Mælípípa; á ensku: *pipette*.

setvogir, mælingar með hjálp röntgengeisla (Sedigraph), raffræðilegar aðferðir (Coulter Counter), aðferðir sem byggjast á beygjugreiningu, smásjárgreiningar og ýmsar fleiri.

Algengustu aðferðirnar fram undir þetta hafa byggst á lögmáli sem Stoke setti fram 1851 og lýsir fallhraða agna í vökva. Meðal þessara aðferða eru tvær sem með réttu eða röngu hafa verið álitnar staðalaðferðir til að mæla sáldurferil sýna af fíngerðum jarðsetum; mælipípuaðferðin sem líklega er algengust, og flotvogaraðferðin, sem fram til þessa hefur verið notuð á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins og er meðal annars lýst í ASTM D422-63 [ASTM 1999].

Lögmál Stokes segir að fallhraði kúlulaga agnar í vökva sé fall af þvermáli hennar, eðlisþyngd kúlunnar og vökvans ásamt seigju hans. Lögmálið byggist á nokkrum forsendum [RC 1971:69-92]. Margar þeirra eru uppfylltar þegar kornastærðadreifing er mæld með flotvog eða þá að frávikin hafa hverfandi áhrif á niðurstöðurnar. Eftirfarandi forsendur eru þó ekki alltaf uppfylltar og geta haft marktæk áhrif á niðurstöður mælinganna:

1. *Styrkur kornanna í vökvanum skal vera minni en 1 % (miðað við rúmmál).* Þetta skilyrði er sett til að tryggja að fall hvers einstaks korns í sýninu sé ótruflað af öðrum kornum. Skilyrðið takmarkar stærð sýnisins, til dæmis má sýni af kvasi sem er mælt er í 1000 ml mæliglasi ekki vera nema 25 g. ASTM D422-63 gerir þó kröfu um að sýni mæld í slíku glasi séu um það bil 65 g eða 115 g (mismunandi eftir því hvort efnið er sandríkt eða að meginhluta sylti og leir).
2. *Kornin verða að vera minnst 0,5  $\mu\text{m}$  í þvermál.* Að öðrum kosti falla kornin ekki lóðrétt í vökvanum vegna áhrifa Browniskra hreyfinga.
3. *Kornin mega ekki vera meira en 50  $\mu\text{m}$  í þvermál.* Annars valda kornin iðustreymi (turbulence) í vökvanum þegar þau falla til botns og fallhraði þeirra breytist. Þó hefur verið sýnt fram á að þessi truflun er hverfandi fyrir korn allt að 140  $\mu\text{m}$  í þvermál og flestir nota lögmál Stokes óhikað fyrir korn upp að 63  $\mu\text{m}$ .
4. *Agnirnar verða að vera kúlulaga.* Þetta skilyrði er alls ekki alltaf uppfyllt og síst fyrir leirkorn. Þau geta verið flögur sem dregur verulega úr fallhraða þeirra og verður til þess að hluti mjög smárra korna mælist stærri en hann er í raun og veru.
5. *Eðlisþyngd agnanna verður að vera þekkt.* Heimildum ber ekki saman um þetta atriði. Skv. ASTM D422-63 þarf að leiðrétta kornastærðina um 10 % ef eðlisþyngdin breytist um 15 % (úr 2,45 í 2,85). Önnur heimild [WI 2002] greinir frá rannsókn á 77 sýnum, þar sem enginn marktækur munur (no statistical difference) kom í ljós þótt eðlisþyngdin 2,65 væri notuð í stað rétrar eðlisþyngdar sem var á bilinu 1,7-4,5.



**Mynd 2.1:** Skýringarmynd af tækjabúnaði fyrir kornastærðagreiningu á grundvelli bylgjubeygju [MP 1999].



Um 1970 kom fram greiningaraðferð sem byggist á hegðun ljóss þegar það verður fyrir hindun á leið sinni [BW 2002]. Þetta fyrirbæri er kallað bylgjubeygja og hefur verið þekkt síðan í byrjun 19. aldar. Með nútímatækni hafa opnast möguleikar á að nota þetta fyrirbrigði til að greina dreifingu smárra kornastærða. Þá er sýninu tvístrað rækilega annaðhvort í lofti eða vökva og látið berast þvert á einlitan ljósgeisla frá ljörva, sjá mynd 2.1. Þegar ljósið hefur farið í gegnum sýnið er því beint á ljósnema sem senda frá sér merki sem hægt er að nota til að greina kornastærðadreifingu sýnisins. Tækið „sér“ kornið sem tvívíðan flöt, og reiknar út hvaða radíus kúla þurfi að hafa til að gefa sömu bylgjubeygju. Með nýjustu tækni getur þessi aðferð mælt kornastærðir á bilinu 0,1-10.000  $\mu\text{m}$  [MP 1999].

Þessi aðferð byggist á eftirfarandi forsendum [MK 1997]:

1. *Greining á merkjum frá ljósnemunum gerir ráð fyrir að agnirnar í sýninu séu kúlulaga.* Þetta skilyrði er alls ekki alltaf uppfyllt, eins og áður er sagt, og síst fyrir leirkorn sem geta verið þunnar flögur.
2. *Stefna (orientation) agnanna í ljósgeislanum er tilviljunarkennd.* Þetta skilyrði þarf ekki að vera uppfyllt því mælingarnar eiga sér oftast stað í stöðugum straumi agna. Straumstefnan, ásamt lögum agnanna, hefur áhrif á áttun<sup>8</sup> þeirra.

Rannsóknastofnun byggingarariðnaðarins hefur nú tækjabúnað til að ákvarða sáldurferil með sinni aðferðinni úr hvorum flokki, flotvog úr flokki aðferða sem byggist á lögmáli Stokes og leisigeislatæki sem byggist á beygjugreiningu. Báðar aðferðir hafa kosti og galla og þeir helstu eru tíundaðir hér á eftir.

*Flotvog.* Meginkostir flotvogarinnar eru þeir að hún er mjög útbreidd, hefur meðal annars verið stöðluð af ASTM og tækjabúnaðurinn er einfaldur og ódýr. Helstu gallar eru þeir að notkun flotvogar er háð takmörkunum sem forsendur lögmáls Stokes setur henni. Meðal annars er hún tæpast nothæf til að mæla grófari kornastærðir en um það bil 50  $\mu\text{m}$ , og þess vegna myndast yfirleitt eyða í kornastærðadreifinguna á milli 50 og 63  $\mu\text{m}$ , en þar taka venjuleg sikti við (hið sama gildir raunar um mælípípuaðferðina). Einnig þurfa sýnin að vera 50-100 g samkvæmt staðli ASTM D422-63 (sem brýtur í bága við forsendu Stokes um styrk kornanna í vökvanum), sem er mikið í samanburði við nauðsynlega sýnastærð fyrir ljörvamælingar (oftast minna en 10 g). Í annan stað er hún tafsöm, mælingarnar taka yfirleitt tvo til þrjá sólarhringa hið minnsta og krefjast mikillar vandvirkni af hálfu rannsóknamannsins. Í þriðja lagi bendir margt til þess að þessi mæliaðferð hliðri kornastærðadreifingu leirs niður á við, þannig að leirkorn mælist fíngerðari en þau eru í raun og veru. Síðast en ekki síst er lítið vitað um nákvæmni<sup>9</sup> og hittni<sup>10</sup> aðferðarinnar, til dæmis er hvorugt tilgreint í staðli ASTM fyrir þessa prófunaraðferð.

*Ljörvi.* Meginkostur mælingar með ljörva er sá að hún er afar fljótleg; þegar sýnið hefur verið undirbúið er hægt að prófa sýni á fáeinum mínútum. Tækin eru að miklu leyti sjálfvirk en undirbúningur sýnanna og meðferð tækjanna gera talsverðar kröfur til rannsóknamannsins. Sýnin eru lítil, 100-200 mg geta dugað ef sýnin fínkorna, en 5-10 g ef sýnin eru sandkennd [MK 1997:528]. Ennfremur fást margir punktar á sáldurferlinum (um 30) og niðurstöðurnar eru á tölvutæku formi. Nákvæmnin er mikil, takmarkast fremur af undirbúningi sýnisins en mælingunni sjálfri. Mælingar með ljörva í mismunandi mælikerfum eru yfirleitt sjálfum sér samkvæmar, staðalfrávik milli kerfa eru yfirleitt minni en 2 % [MP 1999], og framleiðendur Helos-

<sup>8</sup> *Áttun*; á ensku: *orientation*.

<sup>9</sup> *Nákvæmni*; á ensku *precision*, segir til um hversu nálægar endurteknaðar mælingar eru hver annarri.

<sup>10</sup> *Hittni*; á ensku: *accuracy*, segir til um hversu lík mæliniðurstæða er réttari niðurstöðu.

kerfisins (Sympatec GmbH) ábyrgjast að samkvæmni<sup>11</sup> sé minna en 1 % innan þessa kerfis [MP 2000]. Aðferðin getur einnig gefið upplýsingar um yfirborð kornanna sem mæld eru, bæði flatarmál á rúmmálseiningu og flatarmál á þyngdareiningu. Meginfallinn er sá að tækjabúnaðurinn er mjög dýr í samanburði við tækjakost til flotvogarmælinga.

## 2.2 Samanburður á greiningum með ljörva og flotvog

Í grein eftir Wen o. fl. [BW 2002] kemur fram að í heimildum er lítið að finna um samanburð á mælingum með flotvog og ljörva. Hins vegar séu niðurstöður samanburðarmælinga á mælípípuaðferðinni (sem byggist á sama lögmáli og flotvogaraðferðin) og ljörva yfirleitt á þann veg að ljörvi geti skilað nákvæmum<sup>9</sup> og hittnum<sup>10</sup> niðurstöðum ef sýnið er undirbúið á tilskilinn máta.

Wen og samstarfsmenn hans báru saman sáldurferla átta sýna sem annars vegar voru mæld með ljörva, hins vegar með siktum og flotvog. Samanburðarmælingar sýndu yfirleitt stökk í sáldurferlinum þar sem sikti tóku við af flotvogarmælingunum, venjulega á bilinu 58-62  $\mu\text{m}$ . Sömu höfundar vitna í heimildir þar sem svipaðar niðurstöður eru birtar. Þeir telja enn fremur að flotvog vanmeti hlut miðlungs til grófrar syltar og fíngerðs sands í sýninu og hún henti þess vegna ekki til mælinga á þessu bili. Þegar sýnin voru saktuð í grennd við þetta bil (38-53  $\mu\text{m}$ ) fékkst miklu betra samræmi milli ljörvamælinga og flotvogarmælinga.

Wen og félagar hans benda á að þegar leirrík sýni eigi í hlut, þá vanmeti flotvog kornastærðirnar en á hinn bóginn sé skuggaþvermál<sup>12</sup> sem mælist í ljörva miklu stærra en þvermál kúlu með sama efnismagn og tilheyrandi leirkorn. Í þessum tilfellum tilgreinir ljörvi korn sem sylt sem flotvog greinir sem leir. Máli sínu til stuðnings benda þeir á að margir aðrir hafi komist að svipuðum niðurstöðum.

Wen og félagar hans álykta sem svo að flotvogaraðferðin hafi ýmsa vankanta sem leiði til kerfisbundinnar skekkju á niðurstöðunum og orsakanna sé fyrst og fremst að leita í mismunandi skilgreiningum á kornastærð, mismunandi eðlisþyngd korna í sýninu og í þriðja lagi iðustreymi í vökvanum í byrjun mælingarinnar. Þrátt fyrir greinilegt ósamræmi milli sáldurferla sem fengnir eru annars vegar með flotvog og hins vegar ljörva, telja þeir að samræmið milli þessara tveggja mæliaðferða mjög gott. Þeir telja einnig að mæling með ljörva hafi marga kosti fram yfir mælingu með flotvog og ætti að fá stöðu staðalaðferðar.

Konert og Vandenberghe [MK 1997] gerðu umfangsmikinn samanburð á niðurstöðum sáldurgreiningar með ljörva annars vegar og mælípípu hins vegar (mælípípuaðferðin byggist, eins og flotvogaraðferðin, á lögmáli Stokes). Að þeirra áliti má færa rök að því að hvorug aðferðin gefi réttar niðurstöður, heldur mæli þær mismunandi eiginleika sýnisins. Konert og Vandenberghe telja að skýringarinnar sé að leita í lögum leiragnanna og vitna í nokkra höfunda sem hafa rökstutt að mæling með ljörva vanmeti hlutfall leiragna um 20-70 % (í samanburði við mælípípuaðferðina).

Konert og Vandenberghe gerðu samanburðarmælingar á sáldurferli sýna af kvarssandi og kvarssdufti, nánar tiltekið á sýnum með vottaða kornadreifingu, sem annars vegar voru mæld með mælípípuaðferðinni, hins vegar með ljörva (FRITSCH Laser Particle Sizer A22). Niðurstöðurnar voru í stuttu máli þessar:

<sup>11</sup> *Samkvæmni*, á ensku: *reproducibility*, mælikvarði á innbyrðis samsvörun mælinga sem gerðar eru á sama eða samskonar sýnum á mismunandi rannsóknastofum (af öðrum mönnum og með öðrum tækjum).

<sup>12</sup> *Skuggaþvermál*; á ensku: *optical diameter*.

- Mælingum með ljörva á meðalkornastærð vottaðra sýna af kvarsdufti og kvarssandi bar mjög vel saman við uppgefna kornastærð skv. vottun. Staðalfrávik mælinga með ljörva er þó alltaf heldur hærra en það sem vottunin tilgreinir.
- Meðalkornastærð 42 sýna af sandi ( $> 63 \mu\text{m}$ ) mælist lítið eitt grófari með ljörva en með siktun (mismunurinn er yfirleitt  $0,25-0,5 \varphi^{13}$  sem svarar til hliðrunar á kornastærð um 70-85 % af stærðinni). Þessi mismunur er rakinn til lögunar sandkornanna sem eru ekki kúlulaga og mælast því minni við siktun en kúlur með sama efnismagni. Ennfremur er staðalfrávik mælinga með ljörva heldur hærra en þegar sýnið er siktað.
- Mælingar á leirkenndu seti sýna hins vegar verulegan mun eftir aðferðum. Enn gefa niðurstöður mælinga með ljörva grófara efni til kynna; hluti sýnis undir  $2 \mu\text{m}$  samkvæmt mælípípuaðferðinni svarar um það bil til hluta sama sýnis undir  $8 \mu\text{m}$  samkvæmt mælingunum með ljörva. Mismunurinn er minni á grófara efni; hluti sýnis undir  $16 \mu\text{m}$  samkvæmt mælípípuaðferðinni svarar um það bil til hluta sýnisins undir  $22 \mu\text{m}$  samkvæmt mælingunum með ljörva. Þrátt fyrir þetta er fylgnin milli niðurstaðna mæliaðferðanna mjög góð, fylgnistuðullinn er 0,95 sem bendir til að þarna sé aðallega um hliðrun á kornastærðum að ræða. Höfundar greinarinnar telja að þessi mismunur stafi fyrst og fremst af lögun kornanna og benda á að leiragnir sem mælast um  $2 \mu\text{m}$  í þvermál samkvæmt lögmáli Stokes geti mælst  $10 \mu\text{m}$  á lengd og  $0,4 \mu\text{m}$  á þykkt í rafeindasmásjá. Jafnframt benda þeir á að efni í stærðarfloknum  $16 \mu\text{m}$  innihaldi nánast engan leir. Á þessum forsendum telja þeir mögulegt að ákvarða sambandið á milli leirinnihalds ( $< 2 \mu\text{m}$ ) sem þessar tvær aðferðir gefa og meta leirinnihald samkvæmt annarri aðferðinni út frá niðurstöðum hinnar.

Margir aðrir greinahöfundar hafa bent á ósamræmi í niðurstöðum þegar mismunandi aðferðir eru notaðar til að ákvarða kornastærðir í leir. Lu o.fl. [NL 2000] vitna í nokkrar heimildir þessa efnis. Sömu höfundar setja einnig fram reiknilíkan sem metur hvernig lögun kornanna skeykir mat á meðalþvermáli þeirra, reiknað samkvæmt lögmáli Stokes, og sýna með tilraunum fram á réttmæti þess. Jafnframt greina þeir frá niðurstöðum mælinga á leir (kaolinite, sem að jafnaði er mjög þunnar flögur), annars vegar með flotvog, hins vegar með ljörva (Malvern Mastersizer). Meðalþvermál leirkornanna mældist  $0,55 \mu\text{m}$  með flotvog en  $2,5 \mu\text{m}$  með ljörva, sem er í samræmi við útreikninga eftir áður nefndu líkani. Önnur leirtegund (mica, sem líka myndar þunnar flögur) var einnig prófuð. Sýni, sem með votsiktun mældist vera á bilinu  $43-75 \mu\text{m}$ , mældist allt undir  $43 \mu\text{m}$  með flotvog og meðalþvermál kornanna mældist  $26 \mu\text{m}$ . Lu og samstarfsmenn hans telja athuganir þeirra sýna að jafna Stokes vanmeti stærðir korna á bilinu  $0,1-100 \mu\text{m}$  um allt að tvö stærðarþrep<sup>14</sup> ef hlutfallið milli breiddar og þykktar kornanna er á bilinu 10-500.

ISO<sup>15</sup> hefur gefið út staðal um kornastærðagreiningu með ljörva [ISO 1999:11]. Þar eru tilgreind frávikshlutföll, sem þó gilda aðeins að uppfylltum vissum skilyrðum. Ef hlutfallið milli þvermáls stærstu og minnstu korna í sýninu er  $< 1:10$ , og prófunin endurtekin minnst fimm sinnum á samskonar sýnum, þá má gera ráð fyrir að frávikshlutfallið<sup>16</sup> sé:

<sup>13</sup>  $\varphi$  er mælikvarði á kornastærð;  $\varphi = -\log_2$  (kornastærð í mm).

<sup>14</sup> *Stærðarþrep*; á ensku: *order of magnitude*, táknar venjulega margföldun með 10 fyrir hvert þrep.

<sup>15</sup> The International Organization for Standardization.

<sup>16</sup> *Frávikshlutfall*; á ensku: *coefficient of variation*, skilgreint sem hlutfallið á milli staðalfráviks mælinga á sama eða samskonar sýni og meðaltals sömu mælinga.

- < 3 % á kornastærðum í grennd við miðgildi sáldurferilsins,  $x_{50}$
- < 5 % á kornastærðum í hliðum sáldurdreifingarinnar, t. d.  $x_{10}$  og  $x_{90}$
- Fyrir kornastærðir undir 10  $\mu\text{m}$  á að tvöfalda þessi gildi

Staðallinn gefur engar upplýsingar um samkvæmni<sup>11</sup>. Um hittni<sup>10</sup> er það eitt sagt að kvörðun sé strangt tekið ekki nauðsynleg (þar sem beygjugreining mæli stærðir milliliðalaust), en samt sem áður sé nauðsynlegt að ganga úr skugga um að tækið virki rétt með einhverskonar gilding<sup>17</sup>, til dæmis prófun á viðmiðunarefni með þekktum sáldurferli.

Nokkra hugmynd um innbyrðis hlutföll tvímælingagilda<sup>18</sup> og samkvæmni mælinga á smáum kornastærðum með mismunandi aðferðum má fá af töflu 2.1. sem reyndar byggist á heimild þar sem ekki er ljóst hvort átt er við tvímælingagildi og samkvæmni eins og þau eru venjulega skilgreind. Heimildin tilgreinir niðurstöður úr samanburðarrannsókn á þrem mæliaðferðum, ljörva, flotvog og mælipípu [NN, án ártals]. Kornastærð hvers sýnis var að langmestu leyti á bilinu 10-1000  $\mu\text{m}$ .

**Tafla 2.1:** Nákvæmni þriggja mæliaðferða til að ákvarða sáldurferil.

	Niðurstöður fengnar með		
	Ljörva	Mælipípu	Flotvog
Maximum standard deviation for sample replicates <sup>19</sup>	0,5 %	2,9%	5,4 %
Between laboratory measurement error <sup>20</sup>	2-6 %	6-18 % <sup>21</sup>	-

Staðhæfingar um að ranglega ákvörðuð eðlisþyngd steinefnisins geti skýrt mismun á flotvogarmælingum og mælingum með ljörva virðast vera umdeilanlegar. Isphording [WI 2002] prófaði 77 sýni með eðlisþyngdum á milli 1,7 og 4,5. Breytingin varð óveruleg (no statistical differences) þótt reiknað væri með eðlisþyngdinni 2,65 í staðinn fyrir rétta eðlisþyngd í flotvogarmælingunum.

### 2.3 Ályktanir af heimildakönnun

Af því sem tínt hefur verið til úr heimildakönnunum hér á undan má ætla að mæling með ljörva taki flotvoginni fram í flestu tilliti. Hún er fljótvirkari, nákvæmari, gerir minni kröfur til rannsóknamannsins og gefur réttari hugmynd um raunverulegar kornastærðir og dreifingu þeirra innan sýnisins en flotvugin. Að vísu er tækjabúnaðurinn margfalt dýrari en það kann að vinnast upp með meiri afköstum ef næg verkefni eru fyrir hendi.

Hins vegar verður að taka með í reikninginn að ýmsar kröfur í mannvirkjagerð, meðal annars til eiginleika fíngerðra jarðseta, eru miðaðar við niðurstöður flotvogarmælinga á smáum kornastærðum einmitt á því stærðabili þar sem helst er að vænta mismunar á niðurstöðu mælinga með flotvogar og ljörva. Sumar þessara krafna byggjast á áratuga reynslu og með hliðsjón af því getur orkað tvímælis að skipta um mæliaðferð, nema þá að breyta kröfunum til samræmis. Til dæmis er hugsanlegt að tiltekið efni myndi uppfylla kröfu þegar mælt er með annarri aðferðinni en ekki með hinni.

Þessi staða gæti til dæmis komið upp þegar meta skal frostnæmi jarðvegs. Þá er oft gerð krafa um að þyngdarhluti efnis undir 0,02 mm (20  $\mu\text{m}$ ) kornastærð sé < 3 % [AL

<sup>17</sup> Gilding; á ensku: validation.

<sup>18</sup> Tvímælingagildi; á ensku: repeatability, mælikvarði á innbyrðis samsvörun mælinga sem gerðar eru á sama eða samskonar sýnum á sömu rannsóknastofu (af sama manni og með sömu tækjum).

<sup>19</sup> Hér er líklega átt við tvímælingagildi.

<sup>20</sup> Hér er líklega átt við samkvæmni.

<sup>21</sup> 6-10 % fyrir sandkennd sýni, 16-18 % fyrir siltarkennd sýni.

1995:45-48]. Hérlandis hefur þetta hlutfall verið ákvarðað með flotvog (ásamt siktum), en ef ljörvi er notaður getur farið svo að efni sem stenst kröfur samkvæmt mælingu með ljörva sé í raun ónothæft, þar sem hann hefur tilhneigingu til að hliðra sáldurferlinum í átt að grófara efni í samanburði við flotvog. Þess vegna er æskilegt að kanna hversu mikil hliðrunin er á dæmigerðum íslenskum steinefnum og taka tillit til hennar þegar ákvörðun, sem byggist á mælingum með ljörva, er tekin um notagildi efnis.

### 3. EFNIVÍÐUR OG MÆLIAÐFERÐIR

#### 3.1 Mælitæki og mæliaðferðir

Mælitæki Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins er samstæða frá þýsku fyrirtæki, Sympatec GmbH, System-Partikel-Teknik. Helstu hlutar þess eru matari af gerðinni VIBRI, ómskekja<sup>2</sup> af gerðinni RODOS sem tvístrar sýninu fyrir prófun, hvorutveggja fyrir þurrmælingar, sambyggð blöndunar-, tvístrunar- og skömmtunareining af gerðinni SUCELL fyrir votmælingar, ennfremur mælieining af gerðinni HELOS, auk tölvubúnaðar. Samstæðan gefur möguleika á að tvístra sýninu og mæla sáldurferilinn hvort heldur er í loftstraumi eða vökvastraumi. Hún er búin He/Ne ljósgjafa sem hefur 632,8 nm öldulengd, og getur mælt kornastærðir á bilinu frá 350 og niður í 1,8  $\mu\text{m}$ , í vissum tilfellum niður í 0,5  $\mu\text{m}$ .

ISO 13320-1 [ISO 1999] lýsir ákvörðun sáldurferils með beygjugreiningu og ISO 14887 [ISO 2000] lýsir nánar tvístrun sýna á duftformi í vökva. Í viðauka 1 eru birt drög að verklýsingu fyrir sáldurgreiningu með ljörva, þýdd, stytt og staðfærð upp úr áðurnefndum stöðlum og handbókum greiningarsamstæðunnar. Drögin verða endurskoðuð þegar meiri reynsla er fengin af notkun tækjanna.

#### 3.2 Sýni og tilhögun mælinga

Sýni til samanburðarmælinganna voru fengin úr öðru rannsóknaverkefni FÍNEFNI Í MALARSLITLÖG [PI 1996] sem voru tiltæk á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins. Þau voru af 47 jarðsetum, öll tekin úr námum sem Vegagerðin hefur notað til ofaníbúðar á malarvegi. Flest sýnanna eru af dæmigerðum malarslitlagsefnum þó svo að nokkur þeirra uppfylli ekki kröfur verklýsinga Vegagerðarinnar til sáldurferils efnis í malarslitlög [AL 1995:53]. Sáldurferlar sýnanna voru ákvarðaðir á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins 1995 og eru birtir í áfangaskýrslu um áðurnefnt rannsóknaverkefni [PI 1996]. Þeir spanna bilið frá  $\approx 2 \mu\text{m}$  og upp í 15-25 mm, stundum þó allt upp í 75 mm. Frumgögn mælinganna eru glötuð og því verður fátt sagt með vissu um aðferðina nema hvað sýnin voru votsiktuð og fíngerði hlutinn sáldurgreindur með flotvog. Þó má telja líklegt að sáldurferillinn hafi verið ákvarðaður í samræmi við ASTM D422-63, og að mælingar með flotvog hafi verið gerðar á þeim hluta sýnanna sem smýgur 2 mm sikti.

Mælingar í ljörva voru gerðar árið 2003. Þær voru gerðar á hlutsýnum úr áðurnefndum sýnum og efni grófara en 125  $\mu\text{m}$  siktað frá. Þar sem sýnum til mælinga með flotvog og ljörva var ekki skipt út úr sama sýnishluta er engin trygging fyrir að þau séu sambærileg, þ.e. alsöm<sup>5</sup>. Öll sýnin 47 voru mæld með þurri tvístrun. Til samanburðar voru 13 sýni mæld með votri tvístrun í eimuðu vatni. Eitt sýni var mælt mælt eftir mismunandi mikla tvístrun í þurrmælingu. Engar tilraunir voru gerðar með tvístrunarhvata<sup>22</sup>. Í viðauka 2 má sjá hvaða sýni voru mæld með hverri aðferð.

<sup>22</sup> Tvístrunarhvati; á ensku: *dispersant*.

Sýni til mælinga í ljörva voru tekin á þann hátt að hlutsýnið var siktað á 125  $\mu\text{m}$  sikti, það sem fór í gegn var hrært rækilega og síðan var tekinn hæfilegur skammtur til greiningar með teskeið og sett í matarann. Í þurrmælingar voru notuð 3-4 g en minna „framan á hnífsoddi“ í votmælingar. Rétt er að undirstrika það að sýnunum var ekki skipt með hvirfilkljúf<sup>23</sup> eins og æskilegt hefði verið, sem eykur á líkur á að sýnapör, sem voru mæld í ljörva á mismunandi hátt, hafi ekki verið alsöm.

### 3.3 Niðurstöður mælinga

Viðauki 3 sýnir sáldurferla samkvæmt mælingum með flotvog annars vegar og ljörva hins vegar. Samanburðurinn nær einungis til þess hluta sýnanna sem smýgur 125  $\mu\text{m}$  sikti, þar sem grófara efni hafði verið siktað frá í sýnunum sem voru mæld í ljörva. Að jafnaði fást sjö punktar á sáldurferlinum þegar mælt er með flotvog (átta ef siktið sem skipt er á er talið með) og kornastærðin fyrir punktana getur verið lítið eitt breytileg. Til dæmis er fyrsti aflestur á flotvoginni á bilinu 26-35  $\mu\text{m}$  í þessu gagnasafni. Punkta sem eru þar fyrir ofan er óhjákvæmilegt að reikna út frá sáldurferli heildarsýnisins; þá er gengið út frá að allt sýnið smjúgi tiltekið sikti (hér 125  $\mu\text{m}$ ) og sáldurferillinn niður að fyrsta punkti sem mælist á flotvog (hér 26-35  $\mu\text{m}$ ) er fundinn með margföldunarstuðlum sem beitt er á sáldur heildarsýnisins og síðan brúun<sup>24</sup> milli punkta sem þannig fást. Mælingar með ljörva gefa 31 punkt en við fyrirfram ákveðnar kornastærðir sem liggja jafnt dreifðar á lograkvarða<sup>25</sup>. Þessar kornastærðir spanna bilið frá tæpum 2  $\mu\text{m}$  og upp að 350  $\mu\text{m}$ .

Til að auðvelda samanburð á sáldurferlum sama sýnis sem fengnir eru með mismunandi aðferðum er fundið sáldur samkvæmt báðum aðferðum fyrir kornastærðirnar 125; 100; 60; 30; 20; 10 og 2  $\mu\text{m}$ . Sáldrið við ofangreindar kornastærðir er fundið með brúun þegar mælingar á sáldri hitta ekki nákvæmlega á þessar kornastærðir. Sá galli er þó á að þessar stærðir eru ekki með öllu heppilega valdar, því sjálf flotvogarmælingin nær eins og áður er sagt aðeins yfir bilið frá tæpum 2  $\mu\text{m}$  og upp í 26-35  $\mu\text{m}$ . Þar fyrir ofan (við 75 og 150  $\mu\text{m}$ ) er sáldrið ákveðið með siktun.

Í þessari samanburðaraðferð geta leynst skekkjuvaldar. Í fyrsta lagi er brúun nálgun sem hittir sjaldnast á nákvæmlega rétt gildi. Í annan stað er samanburður við ljörva ekki eingöngu fenginn frá mælingum með flotvog heldur einnig frá siktun að hluta til. Í þriðja lagi geta áður nefndir margföldunarstuðlar (hér á bilinu 3,2 til 27,8) ýkt skekkju sem kann að vera á sáldurferlum sem fengnir eru með siktun. Í fjórða lagi þurfa sýnin sem voru mæld með ljörva ekki að vera sambærileg við þau sem voru mæld með flotvog þar sem þeim var ekki skipt út úr sama sýnishluta eins og áður segir.

Í viðauka 3 eru sýnd tvö línurit fyrir hvert sýni. Á öðru þeirra eru bornir saman sáldurferlar þess hluta sýnisins sem er smærri en 125  $\mu\text{m}$ , annars vegar samkvæmt mælingu með flotvog (og siktun), hins vegar þurrmælingu með ljörva, og eftir atvikum votmælingu með ljörva. Á hinu línuritinu eru sömu sáldurferlar bornir saman en nú sem hluti af sáldurferli heildarsýnis. Einnig er tilgreint sáldur miðað við áðurgreindar kornastærðir fyrir hvern sáldurferill fyrir sig.

Viðauki 4 er línurit sem sýnir áhrif mismunandi öflugrar tvístrunar á sáldurferil eftir þurrmælingu í ljörva. Aðeins eitt sýni var mælt og því var tvístrað við þrenns konar þrýsting, eitt bar, tvö bör og þrjú bör. Línuritið gefur til kynna að því öflugri

<sup>23</sup> *Hvirfilkljúfur*; á ensku: *rotating sample splitter*.

<sup>24</sup> *Brúun*; á ensku: *interpolation*.

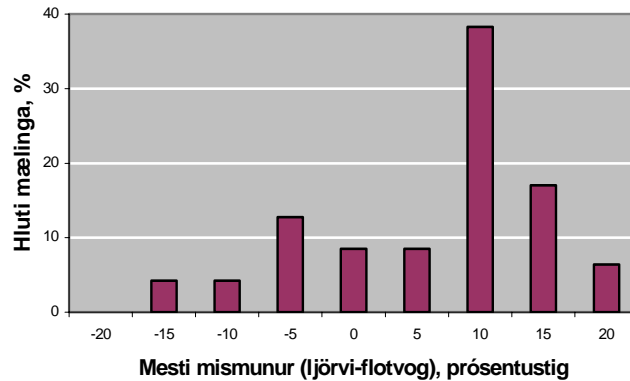
<sup>25</sup> *Logri*; á ensku: *logarithm*.

sem tvístrunin er, þeim mun fíngerðara mælist sýnið. Mesti mismunur er rúm 5 prósentustig og kemur fram á kornastærðum á bilinu 30-60  $\mu\text{m}$ .

#### 4. ÍGRUNDUN OG ÁLYKTANIR

Þegar sáldurferlar með flotvog (og siktun) eru bornir saman við sáldurferla sömu sýna eftir þurrmælingu í ljörva (sjá viðauka 3) og samanburðurinn einskorðaður við efnis sem er smærra en 125  $\mu\text{m}$ , má sjá nokkur sérkenni sem eru rakin hér á eftir.

Yfirleitt falla mælingar með flotvog ekki saman við þurrmælingar með ljörva, og sýnu oftar en hitt er sáldurferill frá mælingu með flotvog sá grófari af þessum tveimur. Ferlarnir byrja oft á svipuðum slóðum í leirhlutanum (< 2  $\mu\text{m}$ ), síðan kemur kafli þar sem sáldurferill samkvæmt flotvog liggur ýmist neðar (er grófari) eða ofar en sáldurferill samkvæmt þurrmælingu með ljörva. Í riflega helmingi tilfella skerast ferlarnir svo í nánd við 100  $\mu\text{m}$ . Gott dæmi um þennan mismunur er sýni 15 á bls. 16 í viðauka 3. Mesti munur á ferlunum í hverju sýni fyrir sig getur verið talsvert mikill, að meðaltali er hann tæpar níu einingar (prósentustig) en getur náð 15-20 einingum í báðar áttir. Mynd 4.1 sýnir hvernig mismunurinn dreifist.



**Mynd 4.1.** Mismunur á sáldurferlum mældum með ljörva og flotvog. Myndin sýnir dreifingu á mesta mismun á niðurstöðum mælinga á sáldurferli 47 sýna, annars vegar með flotvog (og siktun), hins vegar með þurrmælingu í ljörva. Mælingarnar ná til efnis sem er smærra en 125  $\mu\text{m}$ .

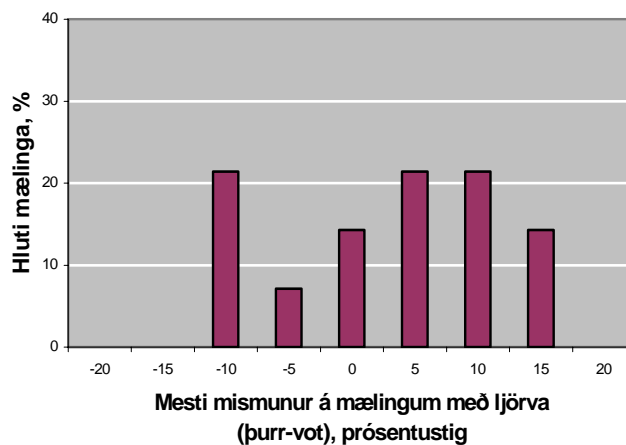
Ástæðan fyrir þessum mismun á sáldurferlum flotvogar og ljörva er ekki einhlít. Nærtækast er þó að ætla að stafi fyrst og fremst af því að sýnapörin sem mæld voru hafi ekki verið alsöm<sup>5</sup>, þar sem mismunurinn er ekki kerfisbundinn svo séð verði.

Í sjö mælingum af 47 kemur brot á sáldurferil frá flotvogarmælingu, hallatala hans minnkar verulega við 30-40  $\mu\text{m}$  en tekur síðan fyrri stefnu við 70-80  $\mu\text{m}$ . Gott dæmi um þetta er sýni 6 á bls. 8 í viðauka 3. Sams konar óreglu er getið í heimildum [BW 2002:3-5, KH 1992:229-230] og er meðal annars talin stafa af því að forsendur fyrir jöfnu Stokes séu ekki með öllu uppfylltar í byrjun mælingarinnar, það er að segja á bili grófgerðar syltar og fíngerðs sands. Í handbók um jarðvegsprófanir [KH 1992:229-230] er mælt til þess að byrjunaraflestrum á flotvog sé sleppt í úrvinnslu þegar svona stendur á. Svona brot á sáldurferlinum koma ekki fram á neinni þeirra mælinga sem gerðar voru með ljörva, sem bendir eindregið til vankanta á flotvogarmælingunum.

Úr áðurnefndum sýnum voru 14 valin til votmælingar með ljörva. Samanburður á niðurstöðum þeirra (sjá viðauka 3) og annarra mælinga leiðir nokkur einkenni í ljós, þegar samanburðurinn er einskorðaður við efni sem er smærra en 125  $\mu\text{m}$ . Yfirleitt falla mælingar með flotvog ekki saman við votmælingar með ljörva. Oftar en hitt er þó minni munur á flotvog og votmælingu með ljörva heldur en á flotvog og þurrmælingu með ljörva.

Mælingum með ljörva, þurrmælingu annars vegar og votmælingu hins vegar, ber heldur ekki saman. Frávikin eru þó minni en þegar mælingar með flotvog eru bornar saman við mælingar með ljörva, um þriðjungur ferlanna fellur nokkurn veginn saman og oft eru þeir annars nokkurn veginn samsíða þótt talsvert geti borið á milli. Betra samræmi á milli þurrmælinga og votmælinga með ljörva en á milli mælinga með flotvog og ljörva styrkir áðurnefnda tilgátu um að sýnapörin, sem notuð voru til mælinga með flotvog annars vegar og ljörva hins vegar, hafi ekki verið sambærileg. Á hinn bóginn stingur í augu að þurrmælingar og votmælingar með ljörva skuli ekki falla betur saman en raun ber vitni. Þar kemur einkum tvennt til greina; að skiptingu sýna milli þurrmælingar og votmælingar hafi verið ábótavant (enda var sýnunum ekki skipt sérstaklega í þessum tilgangi) og að sýnunum hafi ekki verið tvístrað nægilega vel fyrir prófun. Síðari skýringin er ólíklegri, því ætla mætti að önnur hvor tvístrunaraðferðin (í lofti eða vatni) hafi tvístrað sýnunum betur, og þá ætti sú aðferð að skila fíngerðari sáldurferli að öðru jöfnu. Sú er þó ekki raunin.

Mynd 4.2 sýnir hvernig mesti mismunur milli sáldurferla einstakra sýna dreifist þegar annar þeirra er ákvarðaður með þurrmælingu en hinn með votmælingu, hvort tveggja í ljörva. Að meðaltali er mesti mismunur tæpar átta einingar.



**Mynd 4.2.** Mismunur á sáldurferlum eftir þurra og vota mælingu í ljörva. Dreifing mesta mismunar á niðurstöðum mælinga á sáldurferli 14 sýna, annars vegar með þurrmælingu, hins vegar með votmælingu. Mælingarnar ná til efnis sem er smærra en 125  $\mu\text{m}$ .

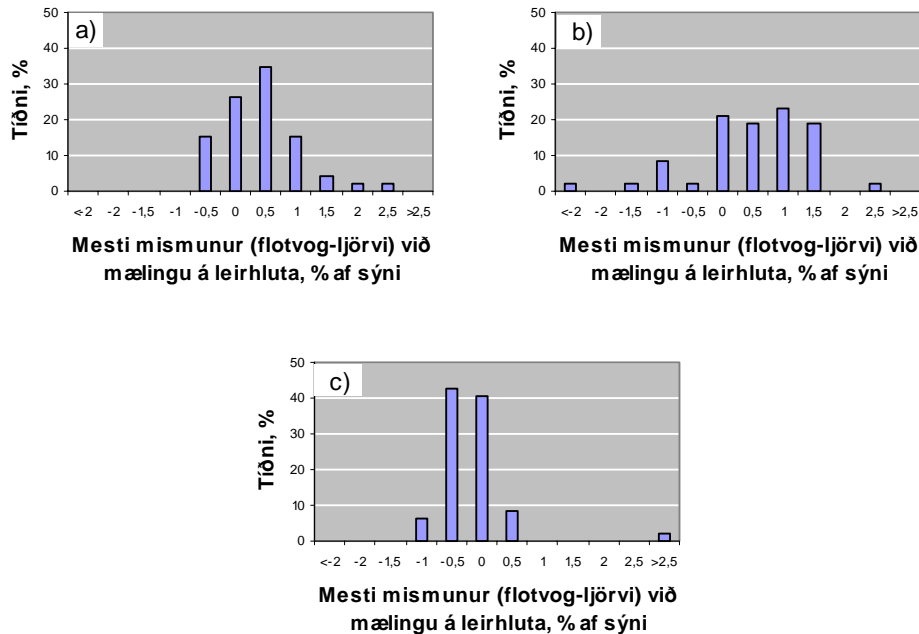
Þegar litið er á sáldurferlana í heild verður myndin nokkuð önnur, þar sem efni smærra en 125  $\mu\text{m}$  er oftast undir 20 % af heildarsýninu (í 43 tilfellum af 47) og mismunur á sáldurferlum eftir greiningaraðferðum verður því tiltölulega lítill þegar miðað er við heildarsýnið.

Leir (smærri korn en 2  $\mu\text{m}$ ) er lítill í öllum sýnunum, oftast á bilinu 1-3 % af heildarsýninu. Samanburður á mælingum með flotvog (og siktun) annars vegar og þurrmælingu með ljörva hins vegar gefur til kynna að báðar aðferðir mæli svipað



leirinnihald, flotvugin þó heldur hærra. Mismunurinn er að meðaltali 0,3 einingar (% af heildarsýni) og er marktækur; líkur á að hann sé einber tilviljun eru minni en 1 %. Flotvugin sýnir oftast meira leirinnihald en þurrmæling í ljörva (í 27 tilfellum á móti 15). Mynd 5.3a sýnir dreifingu mismunarins.

Þessi niðurstaða er í samræmi við heimildir; þar er talið að flotvog mæli að jafnaði meira leirinnihald en ljörvi. Í ljósi þess að verklýsingar Vegagerðarinnar [AL 1995] gera engar kröfur um hlutfalls leirs í steinefnum til vega- og gatnagerðar, þá skiptir þessi mismunur tæpast nokkru máli í vegtæknilegu samhengi að verklýsingunum óbreyttum.



**Mynd 4.3.** Dreifing mismunar á mælingu með flotvog annars vegar og ljörva (þurrmælingu) hins vegar. a) mæling á þyngdarhluta sýnis sem er smærri en 2  $\mu\text{m}$  (leir); b) mæling á þyngdarhluta sýnis sem er smærri en 20  $\mu\text{m}$  (sylv); c) mæling á þyngdarhluta sýnis sem er smærri en 60  $\mu\text{m}$  (fínefni).

Sylv (smærri korn en 20  $\mu\text{m}$ ) í sýnunum er á nokkuð breiðu bili, oftast frá 3-10 %. Samanburður á mælingum með flotvog (og siktun) annars vegar og þurrmælingu með ljörva hins vegar gefur til kynna að báðar aðferðir mæli svipað sylvarinnihald, þó mælir flotvugin hærri sylvarhluta í 30 tilfellum af 44. Mismunurinn er að meðaltali 0,2 einingar (% af heildarsýni) en hann er ekki marktækur, líkur á að hann sé tilviljun eru um 20 %. Þetta bendir til að niðurstöður mælinga á sylvarhluta sýnis ráðist ekki af því hvor aðferðin er notuð við mælingarnar. Mynd 5.3b sýnir dreifingu mismunarins.

Í jarðtæknilegu samhengi er hlutfall sylvar af heildarsýni oft notað til að meta notagildi fyllingar- og burðarlagsefna, ekki síst í tengslum við vega- og gatnagerð. Í verklýsingu Vegagerðarinnar [AL 1995:45-47] er gerð krafa um að hluti sylvar af heildarsýni sé ekki meiri en 3 %. Í ljósi þess að mismunur á niðurstöðum mælinga með flotvog annars vegar og ljörva hins vegar er ekki marktækur, er ekki ástæða til að taka aðra hvora aðferðina fram yfir hina þegar notagildi fyllingar- og burðarlagsefna er metið á grundvelli sylvarinnihalds. Vissulega má halda því fram að niðurstöðurnar sem hér eru birtar, gefi til kynna að mæling með ljörva sýni oftast lægra sylvarinnihald en mæling með flotvog, og þar af leiðandi sé minni áhætta að taka mark á mælingum

með flotvog. En það er heldur ekki gild ástæða til að gera upp á milli mæliaðferðanna því þessi mismunur getur sem hægst verið tilviljun.

Hlutfall smærra korna en  $60\ \mu\text{m}$  (sem er nokkurn veginn sá hluti sem kallast fínefni) í sýnunum er á nokkuð breiðu bili. Í flestum tilfellum er þetta hlutfall á bilinu 5-15 %. Samanburður á mælingum með flotvog (og siktun) annars vegar og þurrmælingu með ljörva hins vegar sýna svipaðar niðurstöður, þótt flotvogin sýni lægri gildi; mismunurinn er að meðaltali 0,3 einingar (% af heildarsýni). Hann er engu að síður marktækur, því líkur á að hann sé tilviljun eru minni en 1 %. Mynd 5.3c sýnir dreifingu mismunarins.

Áður en ályktanir eru dregnar af niðurstöðum sem hér hafa verið settar fram er nauðsynlegt að árétta nokkra fyrirvara:

- Í fyrsta lagi er engin trygging fyrir að mælingar með flotvog annars vegar og ljörva hins vegar hafi verið gerðar á sambærilegum sýnum, þar sem sýnunum var ekki skipt (í skiptara) með samanburðarmælingar í huga. Hið sama á að nokkru leyti við um samanburð á þurrmælingu og votmælingu í ljörva, svo og samanburð á mismunandi öflugri tvístrun, en þó er ástæða til að ætla hvor tveggja samanburðurinn hafi verið gerður á sambærilegri sýnum.
- Í öðru lagi eru sýnin eingöngu tekin úr námum sem ætlaðar eru til malarslitlagsgerðar og eru þess vegna ekki endilega dæmigerð fyrir sýni sem kunna að verða sáldurgreind á þennan hátt.
- Í þriðja lagi eru ályktanir um notagildi samanburðarins takmarkaðar við kröfur til steinefna í vega- og gatnagerð.

Með þeim takmörkunum sem framangreindir fyrirvarar setja má draga eftirfarandi ályktanir:

- Mælingar með flotvog annars vegar og ljörva hins vegar á sýnum sem eru smærra en  $125\ \mu\text{m}$  gefa ekki sambærilegar niðurstöður. Munurinn er allt upp í 15-20 prósentustig. Með hliðsjón af heimildum um samanburðarmælingar af svipuðu tagi er sennilegast að munurinn stafi fyrst og fremst af mismun á sýnum en í fáeinum tilfellum má að öllum líkindum rekja mismuninn að einhverju eða öllu leyti til flotvogarmælingarinnar.
- Mælingar með ljörva á smærra sýnum en  $125\ \mu\text{m}$ , annars vegar þurrmælingar og hins vegar votmælingar, eru heldur ekki sambærilegar, en munurinn er þó minni en þegar mælingar með flotvog og ljörva eru bornar saman. Munurinn er allt upp í 10-15 prósentustig. Hann getur stafað af mismun á sýnum en einnig af því að mæliaðferðirnar nota ekki sömu tækni til að tvístra sýnunum fyrir mælingu.
- Leirhluti sýnanna (smærra korn en  $2\ \mu\text{m}$ ) er oftast á bilinu 1-3 % af heildarsýni. Flotvog mælir eilítið hærri leirhluta í sýnum en ljörvi þegar miðað er við heildarsýni. Mismunurinn er að meðaltali 0,3 % (af heildarsýni) og er marktækur.
- Syltarhluti sýnanna (smærra korn en  $20\ \mu\text{m}$ ) er oftast á bilinu 3-10 % af heildarsýni. Báðar aðferðir mæla svipað syltarinnihald, mismunurinn er að meðaltali 0,2 % (af heildarsýni) en er ekki marktækur.
- Fínefnahluti sýnanna (smærra korn en  $60\ \mu\text{m}$ ) er oftast á bilinu 5-15 % af heildarsýni. Flotvog mælir eilítið hærri fínefnainnihald, mismunurinn er að meðaltali 0,3 % (af heildarsýni) og er marktækur.
- Ef miðað er við heildarsýni (öll sýnin ná 19 mm kornastærð og sum þeirra allt upp í 75 mm) er mismunur á niðurstöðum eftir mæliaðferðum minni en svo að líklegt geti talist að hann hafi áhrif á það hvort fyllingar- og burðarlagefni standist kröfur í verklýsingum Vegagerðarinnar.

- Mælingar með ljörva eru að öllum líkindum nægilega áreiðanlegar til að meta hvort kröfur í verklýsingum Vegagerðarinnar eru uppfylltar, en spurningunni er ekki hægt að svara afdráttarlaust að svo stöddu.

Niðurstöðurnar hér á undan gefa til kynna að mælingar með ljörva geti komið í stað mælinga með flotvog þegar meta skal hvort fyllingar- og burðarlagsefni uppfylla kröfur í verklýsingum Vegagerðarinnar hvað sáldurferil fínafna snertir.

Í þessari rannsókn kemur fram verulegur mismunur á niðurstöðum mælinga eftir því hvaða mæliaðferð er notuð. Að líkindum á þessi mismunur að einhverju leyti rót sína að mismunur á sýnum sem hefðu átt að vera sambærileg og einnig er sennilegt að ófullkomin verklýsing hafi sett strik í reikninginn við mælingar í ljörva. Í ljósi þessa er lagt til að rannsóknin verði endurtekin; í fyrsta lagi með sérstakri áherslu á að sýni til samanburðar á mismunandi mæliaðferðum verði gerð eins lík og hægt er með góðu móti, og í öðru lagi að verklýsing fyrir mælingar í ljörva verði endurskoðuð og henni verði fylgt út í æsar.

## HEIMILDIR

- [AL 1995]. *Alverk '95. Almenn verklýsing fyrir vega- og brúargerð*. Vegagerðin, Reykjavík.
- [ASTM 1999]. *D422-63. Standard Test Methods for Particle-Size Analysis of Soils*. Í *1999 Annual Book of ASTM Standards*, vol. 04.08. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.
- [BW 2002]. Wen, B. et al. *A Comparative Study of Particle Size Analyses by Sieve-Hydrometer and Laser Diffraction Methods*. *Geotechnical Testing Journal*, Dec. 2002, Vol. 25, No. 4, 1-9.
- [ISO 1999]. *International Standard ISO 13320-1. Particle size analysis – Laser diffraction methods- Part 1: General principles*. First edition 1999-11-01.
- [ISO 2000]. *International Standard ISO 14887. Sample preparation – Dispersing procedures for powders in liquids*. First edition 2000-09-01.
- [KH 1992]. Head, K. H. *Manual of Soil Laboratory Testing, Volume 1: Soil Classification and Compaction Tests*. 2. útg. Pentech Press, London.
- [MK 1997]. Konert, M. and Vandenberghe, J. *Comparison of laser grain size analysis with pipette and sieve analysis: a solution for the underestimation of the clay fraction*. *Sedimentology* (1997) No. 44, 523-535.
- [MP 1999]. Puckhaber, M. and Röthele, S. *Laser Diffraction - Millenium Link for Particle Size Analysis*. *Powder Handling & Processing*, Vol. 11, No. 1, January/March 1999.
- [MP 2000]. Puckhaber, M. and Röthele, S. *Particle sizing – Latest technology*. *European Cement Magazine*, March 2000, 18-21.
- [NL 2000]. Lu, N., Ristow, G. H., and Likos, W. J. *The Accuracy of Hydrometer Analysis for Fine-Grained Clay Particles*. *Geotechnical Testing Journal*, GTJODJ, Vol. 23, No. 4, December 2000, 487-495.
- [NN, án ártals]. Án höfundar. *Sediment grain size: Results of an interlaboratory intercalibration experiment*. Á <http://www.sccwrp.org/pubs/annrpt/93-94/art07.htm>
- [RC 1971]. Carver, R. E. *Procedures in sedimentary petrology*. Wiley-Interscience. [http://hjs.geol.uib.no/hovedlab/analysis\\_pipette\\_eng.html](http://hjs.geol.uib.no/hovedlab/analysis_pipette_eng.html)
- [WI 2002]: Isphording, W. C. et al. *Influence of particle density and other Stoke's law assumptions on the precison and accuracy of particle size analyses*. [http://gsa.confex.com/gsa/2002AM/finalprogram/abstract\\_42118.htm](http://gsa.confex.com/gsa/2002AM/finalprogram/abstract_42118.htm)
- [ÞI 1996]. Þórir Ingason og Edda Lilja Sveinsdóttir. *Fínefni í malarlitlög – áfangaskýrsla*. BUSL – Efnisgæðanefnd, skýrsla E10, Reykjavík 1996.

VIÐAUKI 1  
ÁKVÖRÐUN SÁLDURFERILS  
MEÐ LJÖRVA  
DRÖG AÐ VERKLÝSINGU



## 1 Inngangur

Eftirfarandi verklýsing er til bráðabirgða og nær aðeins til mælinga á steinefnum (um mælingar á öðrum efnum vísast til heimilda sem eru tilgreindar í kafla 3). Verklýsingin er byggð á tédum heimildum auk reynslu sem fékkst við mælingar á kornastærðum sýna af jarðsetum í verkefni V03-10 síðla árs 2003. Í henni er aðeins stiklað á stóru, en mælitækjunum fylgja handbækur frá framleiðanda (sjá kafla 3) og nánari fyrirmælum í þeim ber að fylgja hvort heldur er varðandi undirbúning mælinganna eða framkvæmd þeirra.

Verklýsingin verður endurskoðuð þegar aukin reynsla er fengin af mælingum með þessari aðferð.

## 2 Viðfangsefni

Verklýsingin lýsir ákvörðun kornastærðardreifingar með ljörva (laser). Niðurstöðurnar lýsa sáldurferli steinefna og svipaðra efna á bilinu 1,8  $\mu\text{m}$  (í sumum tilfellum 0,5  $\mu\text{m}$ ) til 350  $\mu\text{m}$ . Prófunin er venjulega hluti af umfangsmeiri ákvörðun á sáldurferlum þar sem sáldurferill grófari kornastærða er ákvarðaður samhliða. Niðurstöðurnar eru meðal annars notaðar til að meta hvort sáldurferill sýnisins uppfylli kröfur í verklýsingum.

## 3 Heimildir

International Standard ISO 13320-1. *Particle size analysis – Laser diffraction methods – Part 1: General principles*. First edition 1999-11-01.

International Standard ISO 14887. *Sample preparation – Dispersing procedures for powders in liquids*. First edition 2000-09-01.

*WINDOX & HELOS Version 3.4 Operating Instructions*. Sympatec GmbH System-Partikel-Technik, 2000.

*SUCCELL/GRACELL/HOTCELL/SVA Operating Instructions*. Sympatec GmbH System-Partikel-Technik, 2000.

*HELOS Central Unit Operating Instructions*. Sympatec GmbH System-Partikel-Technik, 2000.

## 4 Skilgreining á hugtökum

*Þurrgreining*. Sýnið er greint í þurru ástandi, þ.e. eftir þurrsiktun og skiptingu.

*Votgreining*. Eftir skiptingu er hæfilega stórt sýni hrært upp í vatni og greint þannig.

## 5 Ágrip prófunar

Grófara efni en 350  $\mu\text{m}$  er fjarlægð úr sýninu. Þurrt sýni sem ekki loðir saman er að jafnaði prófað með þurrgreiningu, rakt efni sem loðir saman er hrært upp í vatni og greint með votgreiningu. Þegar mælisamstæðan hefur verið gangsett og stillt í samræmi við prófunarfyrirmæli er hæfilegt sýni er sett í matara tækisins. Þaðan fer sýnið í gegnum tvístrunareiningu þar sem sýninu er tvístrað svo að einstök korn loði ekki saman. Kornin eru látin berast þvert á og í gegnum ljósgeisla frá ljörva, annað hvort í loftstraumi (þurrgreining) eða vökvastraumi (votgreining). Síðan er ljósgeislanum beint á nema sem nemur styrkleikadreifingu ljóssins og sendir frá sér merki sem hægt er að nota til að greina kornastærðadreifingu sýnisins. Mælingin er sjálfvirk og niðurstöður hennar skila sér inn í tölvutæka skrá.

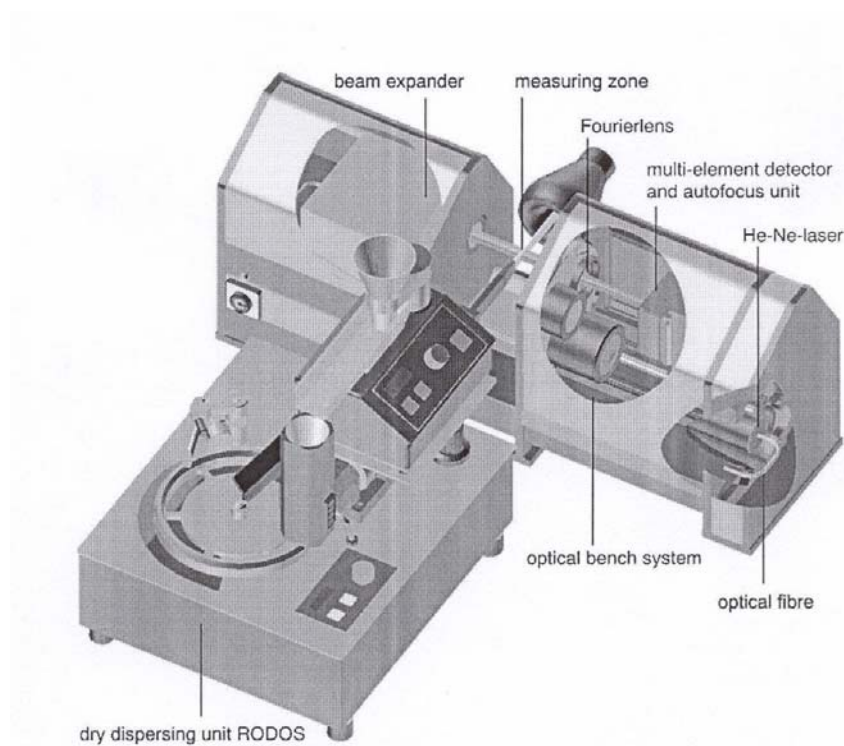
## 6 Notagildi

Prófunaraðferðin ákvarðar sáldurferil steinefna á bilinu 1,8-350  $\mu\text{m}$ . Í vissum tilfellum er hægt að mæla kornastærðir allt niður í 0,5  $\mu\text{m}$ .

## 7 Tækjabúnaður

**7.1 Greiningarsamstæða.** Í henni eru eftirfarandi einingar (sjá mynd):

- Mælieining (HELOS) fyrir þurr- og votgreiningu.
- Skammtari (VIBRI) fyrir þurrgreiningu.
- Ómskekja (RODOS) fyrir þurrgreiningu. Blöndunar-, tvístrunar- og skömmtunareining (SUCELL) fyrir votgreiningu.
- Tölva ásamt forritasafni (WINDOX) til að stýra mæliferlinum, vinna úr mælingum og skrá niðurstöður.



**Mynd 1.** Greiningarsamstæða (HELOS/RODOS/VIBRI) fyrir þurrgreiningu.

Á mynd 1 er tvístrunareiningin (RODOS) fremst á myndinni en HELOS-einingin fyrir aftan. Ljósgejafinn er vinstra megin í HELOS-einingunni og aftan á honum, lengst til vinstri, er tenging við tölvu, tenging við rafmagn í miðrið og hægra megin við hana er tengi fyrir ryksugu í þurrgreiningu eða SUCELL-einingu í votgreiningu. Fyrir ofan RODOS-eininguna, aftantil, er skammtaraeining fyrir þurrgreiningu (VIBRI).

RODOS-einingin er tengd við HELOS-eininguna með rafmagns- og stýringartengingum. RODOS-einingin er einnig tengd við þrýstiloft. Við HELOS-eininguna er auk þess tengdur ryksugustútur sem tekur við sýninu jafnharðan og það fer í gegnum hana.



**7.1.1 Hlutverk eininganna í greiningarsamstæðunni.** HELOS-einingin er þungamiðja greiningarsamstæðunnar. Í henni er ljörvi sem sendir ljósgeisla þvert á straum fínefniskornanna sem greina á og auk þess nemi sem nemur dreifingu ljósstyrksins frá ljörvanum og breytingar á honum. RODOS-einingin sér um að tvístra sýninu og blása því gegnum HELOS-eininguna þar sem sjálf kornastærðagreiningin fer fram. Við RODOS-eininguna er hægt að tengja aukahluti vegna skömmtunar mismunandi efna og er VIBRI-einingin einn þeirra. Hlutverk hans er að mata þurru sýni í stöðugum og hæfilega þéttum straum inn í RODOS-eininguna. Mynd 1 sýnir uppstillingu fyrir þurrgreiningu (VIBRI-, RODOS- og HELOS-einingar).

Þegar sýni er votgreint kemur SUCELL-eining (ekki sýnd á mynd 1) í stað VIBRI- og RODOS-eininganna. SUCELL-einingin sér um að tvístra sýninu og mata því í hæfilega þéttum straumi inn í HELOS-eininguna til greiningar.

**7.1.2. Stillingar á SUCELL-einingunni.** SUCELL-einingin tvístrar sýninu með hrærslu og ómskekju eða úthljóði. Henni er komið fyrir í RODOS-einingunni og á að falla þétt að ljósgjafa-einingunni (vinstri hlutanum)<sup>1</sup>. Á SUCELL-einingunni eru fjórir takkar. Merking þeirra og hlutverk er sem hér segir:

**Pump.** Á þessum rofa eru þrjár stillingar.

- R (E). Öfug dæling til þess að losa loftbólur.
- (O). Slekkur á dælunni.
- F (U). Staða rofa meðan á mælingu stendur og líka þegar dælt er út.

**Sonicator.** Ómskekja. Má nota við undirbúning, en er annars stýrt af hugbúnaði.

**Stírrer.** Hrærslubúnaður. Hafður í gangi við undirbúning og mælingu.

**Pump out.** Tæmir sýniskerið að prófun lokinni.

## 7.2 Tölva, forrit og gagnasafn.

Nákvæmar leiðbeiningar um notkun forritsins eru í notendahandbók og verða ekki endurtekna hér<sup>2</sup>, aðeins tæpt á helstu atriðum.

Í tölvunni er forrit, WINDOX, sem stýrir framkvæmd mælinga og sér um útreikninga. Í forritinu er hægt að breyta ýmsum stillingum sem stjórna mælingunni.

Aðalvalmynd WINDOX er sýnd á mynd 2. Hér á eftir fara skýringar við myndina og tillögur að stillingum þegar sáldurferill steinefna er mældur.

**Product name:** Hér er sett sýnanúmer í stökum mælingum.

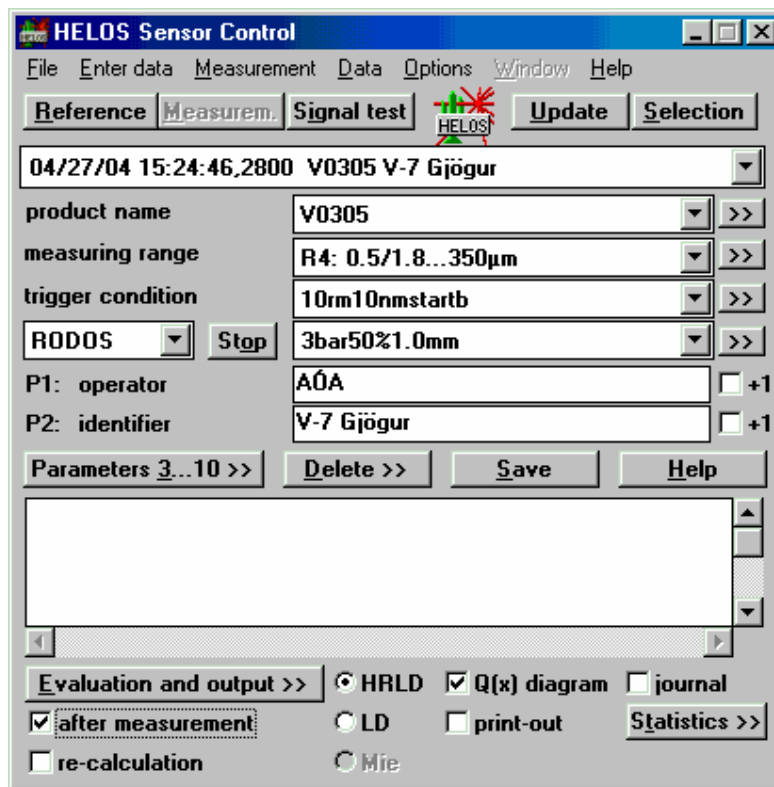
**Measuring range: R4: 0,5/1,8...350µm.** R4 er gerð linsunnar og er sjálfgefin vegna þess að R4 er eina linsan í tæki Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins. 0,5/1,8...350µm táknar kornastærðaspönn sem linsan getur mælt.

**Trigger condition: 10rm-10nmstartb.** Þetta er skammstöfun fyrir eina af mörgum stillingum sem hægt er að sjá á flípanum í forritinu. Skipunin táknar viðmiðunarmælingu (reference) í 10 s, og síðan venjulega mælingu í 10 s, 0 s eftir gangsetninu með ræsihnappi (start button). Þessar stillingar er hægt að velja á ýmsa vegu, t.d. er hægt að velja stillingu þar sem mæling hefst og henni lýkur við tiltekna þéttni korna í sýnisstraumnum.

<sup>1</sup> SympaTec. Documentation HELOS II. SUCELL/GRACELL HOTCELL/SVA. Operating Instructions.

<sup>2</sup> SympaTec. Documentation WINDOX. WINDOX & HELOS, Version 3.4. Operating Instructions.

**RODOS: 3bar50%1.0mm.** Þetta er skammstöfun fyrir stillinguna á tvístrunar-einingunni sem er 3 bara þrýstingur, 50 % titrun og 1,0 mm bil á milli trektar og skúffu<sup>3</sup>.



Mynd 2. Skjámynd fyrir stýringar.

**SUCCELL: 60 sus 80st.** Þetta er skammstöfun fyrir stillinguna á tvístrunareiningu fyrir votmælingu. Hún táknar að ómskekjan gangi í 60 s og hræri á 80 % hraða.

*P1 operator:* Auðkenni fyrir rannsóknamann.

*P2 identifier:* Nánari skýringar við sýni.

*Evaluation and output.* Hér er hægt að velja eina eða fleiri stillingar af mörgum.

- **HRLD.** Velur mælinga- og reikniaðferð Fraunhofer.
- **Q(x) diagram.** Birtir sáldurferil sýnisins á skjánum að mælingu lokinni.
- **print-out.** Prentar niðurstöður mælinganna í textaskrá að mælingum loknum.
- **journal.** Birtir niðurstöður mælinganna í textaskrá á skjá að mælingum loknum.

<sup>3</sup> Aths.: Þessi stilling var tekin upp eftir nokkar prófanir. Fyrst var reynd stilling með 3 bara þrýstingi; 100 % titringi og 1,7 mm bili. Þá 3 bara þrýstingi; 46 % titrun og 1,5 mm bili. Þær tvær síðarnefndu voru fyrir í stillingasafni Windox forritsins, en þeirri fyrstnefndu var bætt við. Í fyrri stillingunum fór fínefni of hratt úr trekt og varð styrkleiki sýnisins (optical concentration) of mikill við mælingu. Mæld voru sýni undir 125 µm og mætti ætla að það þyrfti að auka bil ef mæld væru sýni undir 250 µm. Einnig gæti þurft að nota aðrar stillingar ef kornadreifing sýnisins veldur því að það gangi ekki eðlilega niður með þessum stillingum.

Fljótlegast er að velja eldri mælingu á svipuðu sýni því þá koma stillingarnar á skjáinn. Það þarf þá aðeins að breyta fáeinum sýnatengdum atriðum. Forritið geymir niðurstöður mælinga undir völdu nafni og er hægt að nálgast þær hvenær sem er. Þá er hægt að skoða einstakar mælingar eða meðaltöl sem línurit og tölur.

Ekki er einföld leið til þess að flytja gögn úr WINDOX í Excel. Hægt er að láta forritið gera „journal“ skrár sem hægt er að afrita sem textaskrár og flytja þær síðan í Excel. Til er Excel fjölvi sem vinnur þannig úr textaskránni að mæligildin fara í eina línu í töflureikinum.

### 7.3 Annar nauðsynlegur tækjabúnaður:

- Splittari (riffle box sampler) eða annar búnaður til að skipta stórum sýnum.
- Þurrkofn.
- Hristari.
- Möskvasikti; 63  $\mu\text{m}$ , 125  $\mu\text{m}$ , 250  $\mu\text{m}$  eða 350  $\mu\text{m}$  eftir atvikum.
- Hvirfilkljúfur (rotating sample splitter) eða annar búnaður til að skipta smáum sýnum.

## 8 Undirbúningur sýna

### 8.1 Nokkur almenn atriði

*Skoðun.* Sýnið má skoða lauslega (til dæmis í smásjá) til að meta kornalögun, spönn sáldurferilsins og hvort tvístrun er nægileg.

*Siktun.* Ef sýnið inniheldur korn sem eru grófari en svo að þau mælist í beygjugreiningu þarf að sikta þau frá.

*Skipting sýnis.* Ef sýnið er þurrt, má taka hæfilegan hluta til prófunar til dæmis með hvirfilkljúf (rotating sample splitter). Ef sýnið er rakt má búa til deigklump og skipta honum.

### 8.2 Þurrmæling

Sýni af steinefninu er þurrsiktað á venjulega hátt. Sá hluti sýnisins sem smýgur 500  $\mu\text{m}$  sikti er siktaður aftur á viðeigandi sikti (63  $\mu\text{m}$ , 125  $\mu\text{m}$ , 250  $\mu\text{m}$  eða 350  $\mu\text{m}$  eftir atvikum) ef með þarf. Að því búnu er (minnst) tveimur hlutsýnum skipt út úr sýninu sem þá fæst, helst með hvirfilkljúf, annars með fjórðungaskiptum (kvartering) til prófunar. Stærð hlutsýnanna þarf að vera þannig að styrkur (concentration) efniskorna í loftstraumi tækisins sé um það bil 5-25 %. Hæfileg stærð er oft um 3-4 g.

### 8.3 Votmæling

Sá hluti sýnisins sem er grófari en 500  $\mu\text{m}$  er siktaður frá (hnoðaður eða þveginn gegnum viðeigandi sikti). Síðan er (minnst) tveimur hlutsýnum skipt út úr sýninu sem þá fæst með fjórðungaskiptum til prófunar. Stærð hlutsýnanna þarf að vera þannig að styrkur (concentration) efniskorna í loftstraumi tækisins sé um það bil 5-25 %. Nauðsynleg stærð sýnis er háð spönn sáldurferilsins og eykst eftir því sem spönnin er stærri. Ef sáldurferillinn spannar bilið frá 2 til 200  $\mu\text{m}$ , þarf sýnið að vera 0,3 ml hið minnsta og þá þarf að minnsta kosti 500 ml af vökva til að tvístra sýninu í.

## 9 Kvörðun

Með jöfnu millibili þarf að fá staðfestingu á að tækið mæli rétt, bæði hvað varðar nákvæmni og hittni. Hægt er að kvarða tækið með dufti af vottuðum korna-stærðum. Það er heppilegast að gera í SUCCELL-einingunni (votmælingu). Einnig má prófa hvort tækið mæli rétt með því að mæla sýni með þekktum sáldurferli.

## 10 Mæling

### 10.1 Undirbúningur

Áður en straumi er hleypt á tækjasamstæðuna þarf að ganga úr skugga um að allir hlutar hennar séu jarðtengdir, sér í lagi milli HELOS- og RODOS/VIBRI-eininganna. Einnig þarf að ganga úr skugga um að tengingar milli tækjasamstæðunnar og tölvu séu virkar.

RODOS/VIBRI-samstæðunni þarf að stilla þannig upp að ljósgeisli frá ljörvanum falli á réttan stað framan við útblásturstúðuna. Sérstök plastskífa með áteiknuðum hringjum er fest í túðuna til bráðabirgða meðan rétti staðurinn er fundinn. Breidd plastskífunnar sýnir rétta fjarlægð frá ljósgjafaeningunni<sup>4</sup>.

Sýninu má eftir atvikum tvístra eða ekki. Ef þurr tvístrun er viðhöfð á að tvístra öllu sýninu. Á hinn bóginn þarf að varast að ganga of nærri sýninu þannig að einstök korn smækki. Þetta má tryggja með því að mæla sáldurferil bæði eftir þurra og vota tvístrun, niðurstöðurnar eiga að vera samhljóða. Annar möguleiki er að auka tvístrunarorkuna smám saman (venjulega með því að breyta loftþrýstingi), kanna hvernig sáldurferillinn breytist og hætta að auka hana þegar sáldurferillinn staðnar. Einnig þarf að ganga úr skugga um að skammtarinn í tvístrunareiningunni sendi frá sér jafnan straum af kornum. Þetta má sjá berum augum eða í forritinu sem þéttni (obscuration value).

Fyrir vota tvístrun eru ýmsir vökvar tiltækir og sýninu má meðal annars tvístra í ómskekju. Til að ganga úr skugga um að sýninu sé fulltvístrað má endurtaka tvístrun og mælingu á sama sýni; ef sýninu er fulltvístrað verða óverulegar breytingar á niðurstöðum greiningarinnar. Ef votri tvístrun er beitt þarf að ganga úr skugga um að ekki myndist loftbólur í vökvanum. Þess vegna ber að forðast hreinsiefni sem freyða.

Stillingar tækisins þarf að yfirfara og stilla mælisvið og linsu ef með þarf. Einnig þarf að ganga úr skugga um að kornastraumurinn fari á réttum stað inn í geislann frá ljörvanum.

Ef nauðsyn krefur má stilla undirþrýsting, (depression), með stillihring á RODOS-einingunni, en það ætti ekki að þurfa að gera nema í verksmiðju. Undirþrýstingur á að vera eins mikill og mögulegt er m.v. ákveðinn forþrýsting<sup>5</sup>.

Í VIBRI-einingunni (skammtaranum) á að nota minnsta mögulega bil keilu og skúffu með eins miklum titringi og þörf er á<sup>6</sup>. Á VIBRI-einingunni eru stjórnhnappar en þeir eru ekki notaðir heldur er tækinu stýrt frá tölvu með WINDOX-hugbúnaði SympaTec. Helstu þáttum hans lýst í kafla 7.2. Áður en mæling hefst þarf að blása ryki af skammtaranum (með loftbyssu sem er tengd við þrýstiloft) því að hann þarf að vera hreinn.

<sup>4</sup> SympaTec. Documentation HELOS I. RODOS Operating Instructions, kafli 2.3, s. 8-10.

<sup>5</sup> Documentation HELOS I. RODOS Operating Instructions, kafli 3.1.1, s. 27. - Undirþrýstingur er 85-90 mb. Gerðar voru tilraunir með minni undirþrýsting eða 50 og 20mb en þá varð blástur úr loftstút ójafn.

<sup>6</sup> SympaTec. Documentation HELOS I. RODOS Operating Instructions, kafli 3.1.2.1, s. 28.

Að þessu búnu er rofi á HELOS-einingunni er stilltur á 1 til að kveikja á ljörva. Þannig stilltur er hann þó aðeins á „viðbúnaðarstigi“. Tækið þarf að hitna í 30 mínútur fyrir mælingu. Rofi stilltur á 2 kveikir á öðrum hlutum tækisins. Síðan er kveikt á tölvu og tækjum tengdum henni<sup>7</sup>. Ef vill má færa rofann strax á 2 við ræsingu.

Skipta má mælingu í tvö þrep. Annars vegar viðmiðunarmælingu, sem er gerð án sýnis, og hins vegar mælinguna sjálfa. Sérhver mælingasýrpa byrjar með viðmiðunarmælingu eða blindmælingu (reference). Þegar kornaspönn sýnisins hefur verið valin og ljóstæknilegir eiginleikar mælitækisins stilltir er fyrst gerð mæling án sýnis sem er viðmiðunarmæling. Niðurstöður blindmælingar eiga að vera undir tilteknum gildum. Ef ekki þarf að hreinsa geislaganginn. Niðurstöðurnar eru notaðar til að leiðrétta mælingar á eiginlegu sýni.

## 10.2 Þurrsmæling

Mælt er efni undir tiltekinni stærð (oftast 125  $\mu\text{m}$  eða 250  $\mu\text{m}$ ) sem fæst við þurrsigtun og er það geymt í litlum álbakka eða öðru hentugu ílát. Úr því er tekið hæfilega stórt sýni til mælingar. Æskilegast er að það sé gert með hvirfíkljúf (rotating sample splitter), annar möguleiki er að beita fjórðungaskiptingu (quartering). Ef hvorugri þessara aðferða er beitt er hrært er vel í bakkanum og hæfilegt sýni, sem er um það bil hálf teskeið<sup>8</sup>, tekið úr honum með skeið. Stærðin á sýninu ræður þéttni korna (optical concentration) í loftstraumnum sem má ekki vera of mikil. Þéttin sést í tölvunni og á að vera á bilinu 5-25% í vatni (og líklega álfka í lofti).

Mæld eru tvö eða fleiri hlutasýni og meðaltal þeirra reiknað. Venjulega er mælt í tíu sekúndur sem svarar til 5000 mælisveipa.

Fyrir hvert sýni (en ekki sýnishluta) þarf að gera nýja blindmælingu (reference).

Úrvinnslan er sjálfvirk, þar á meðal leiðrétting vegna blindmælingar.

## 10.2 Votgreining

Mælikerfið þarf að vera hreint fyrir mælingu. Vatnshólf er skolað tvisvar með kranavatni og tvisvar með eimuðu vatni eftir hverja mælingu. Dæla er látin ganga öfugt í stutta stund eða um 20 s og síðan rétt í svipaðan tíma og þegar er vatni dælt út. Vatnsílátið er þurrkað með pappír eftir hverja tæmingu.

Ný blindmæling með eimuðu vatni er gerð áður en sýni er sett í kerfið. Niðurstöður hennar eru notaðar til leiðréttingar á mælingu á sýni.

Á SUCELL-einingunni er hræra í vatnskeri stillt á 5-6 við mælingu og dæla á 5. Hæfilega stórt sýni „framan á hnífsoddi“ er sett í kerfið. Þá er hrært í um 30 s án dælingar. Dælan er látin ganga öfugt í um 30 s fyrir mælingu og 30 s rétt, en um 20 s á milli mælinga. Hvert sýni er mælt a.m.k. tvisvar og er þá átt við mælingu á sömu lausn. Dælu má stilla á 8-9 við tæmingu til þess að flýta fyrir, en þá þarf að muna að minnka hraðann aftur fyrir mælingu.

Þessi lýsing á við þegar þurrt efni er sett í vatnskerið, en heppilegt getur verið að væta sum sýni áður til þess að auðvelda skiptingu og tvístrun.

Mæld eru tvö eða fleiri hlutasýni og meðaltal þeirra reiknað. Venjulega er mælt í tíu sekúndur sem svarar til 5000 mælisveipa.

Fyrir hvert sýni (en ekki sýnishluta) þarf að gera nýja blindmælingu.

<sup>7</sup> SympaTec. Documentation HELOS I. HELOS Central Unit, Operating Instructions, s. 24.

<sup>8</sup> Mældur var skammtur í einu sýni frá V03-10 haustið 2003 og vógu 10 skeiðar 33,4 g eða hver skammtur 3,3 g. (Sýni 12, Laxárberg).

Úrvinnslan er sjálfvirk, þar á meðal leiðrétting vegna mælingar á blindsýni.

## 11 Útreikningar

Forritið sem stýrir mælingunni sér einnig um alla venjulega úreikninga og vörslu niðurstaðna. Forritið reiknar út og birtir sáldurferil sýnisins, bæði uppsafnaðan (cumulative) og þéttni (density). Það semur einnig og birtir textaskrár yfir sáldurferil sýnisins, stillingar á tækinu meðan á mælingu stóð og vistar þær á disk.

## 12 Skýrsla

Stýriforritið (WINDOX) skilar niðurstöðum greiningarinnar á hefðbundnu formi (línurit yfir uppsafnað rúmmál korna sem fall af kornastærð) og einnig línuriti yfir þéttni sem fall af kornastærð (density distribution). Í niðurstöðunum koma einnig fram allmörg prófunarskilyrði, nokkur hlutfallsmörk, auk merkingar á sýni, auðkenna rannsóknar-manns, dagsetningar rannsóknar og vörslutilvísunar niðurstaðna í tölvu.

Auk þessara upplýsinga er æskilegt að tilgreina eftirfarandi í rannsóknaskýrslu (hér er miðað við að sýnið sé af steinefnum) svo hægt sé að endurtaka mælinguna á nákvæmlega sama hátt ef þurfa þykir.

### Sýni:

- Frekari upplýsingar um sýnið, svo sem númer, staðsetningu, dagsetningu sýnatöku, o.s.frv.
- Aðferð við sýnatöku og skiptingu sýnis ef við á.
- Meðhöndlun sýnis, svo sem forsiktun.

### Tvístrun:

- Gerð tvístrunar (þurr eða vot).

*Fyrir þurra tvístrun skal taka fram:*

- stillingar á tvístrunareiningu (þvermál blásturstúðu, þrýsting)
- gerð matara
- mötunarhraða

*Fyrir vota tvístrun skal taka fram:*

- gerð tvístrunarvökva (gerð, magn)
- tvístrunarhvata
- styrk upplausnar
- tvístrun (gerð ómskekju, tíðni, varanda tvístrunar og hlés fyrir mælingu)
- hraða dælu

### Upplýsingar um tækjasamstæðu og stillingar hennar:

- Gerð mælitækis og auðkenni.
- Heiti forrits og útgáfuaðkenni.
- Brennivídd linsu.
- Kornastærðaspönn mælingar.
- Dagsetning síðustu stillingar á geisla (alignment).
- Dagsetning síðustu kvörðunar.
- Þéttni korna í loft/vökvastraumi.
- Þröskuldgildi fyrir byrjunar- og endapunkt mælingar (ef þeim er beitt).
- Þröskuldgildi fyrir marktækar niðurstöður (ef þeim er beitt).

**Auðkenni rannsóknar:**

- Heiti og heimilisfang rannsóknastofu.
- Nafn rannsóknamanns eða auðkennisstafir.

**13 Nákvæmni og bjagi**

13.1 Nákvæmni. Ef hlutfallið milli þvermáls stærstu og minnstu korna í sýninu er <1:10, og prófunin endurtekin minnst fimm sinnum á samskonar sýnum, þá má gera ráð fyrir að frávikshlutfall<sup>9</sup> tvímælingagilda (repeatability) sé:

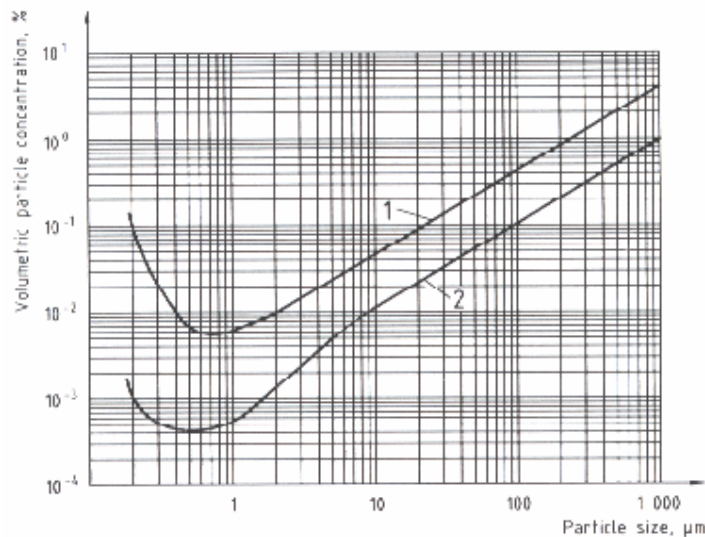
- < 3 % á kornastærðum í grennd við miðgildi sáldurferilsins,  $x_{50}$ .
- < 5 % á kornastærðum í hliðum sáldurdreifingarinnar, t. d.  $x_{10}$  og  $x_{90}$ .
- Fyrir kornastærðir undir 10  $\mu\text{m}$  þarf að tvöfalda þessi gildi.

*Samkvæmni.* Sem stendur eru engar upplýsingar tiltækar um samkvæmni (reproducibility).

13.2 Bjagi. Þar sem mælingar sem byggjast á beygjugreiningu eru milliliðalausar (first principle measurements) eru mælingarnar óbjagaðar. Samt sem áður er nauðsynlegt að ganga úr skugga um að tækið virki rétt með einhverskonar gildingu, til dæmis prófun á viðmiðunarefni með þekktum sáldurferli.

**VIÐAUKI (APPENDIX)****Upplausnarstyrkur.**

Æskilegur styrkur upplausnarinnar er háður kornastærðinni sem mæla á. Hann eykst með kornastærðinni en fleiri þættir hafa áhrif, svo sem gerð mælitækisins og ljósfræðilegir eiginleikar kornanna í sýninu. Mynd 3 má nota sem nálgun fyrir æskilegan styrk.



**Mynd 3.** Dæmigerð mörk fyrir æskilegan styrk upplausnar til mælinga á sáldurferli með beygjugreiningu. Mörkin miðast við þröngt bil á sáldurferlinum og 2 mm geislabreidd (path length). **1:** líklegt hámark; **2:** líklegt lágmark. Lograkvarðar á ásum. Úr [ISO 13320-1].

<sup>9</sup> Frávikshlutfall; á ensku: *coefficient of variation*, skilgreint sem hlutfallið á milli staðalfráviks mælinga á sama eða samskonar sýni og meðaltals sömu mælinga.

Ef vafi leikur á um heppilegasta upplausnarstyrk má leita hann uppi með því að mæla sýnið nokkrum sinnum með mismunandi upplausnarstyrk.

**Val á ljósfræðilegu líkani.**

Oftast nær er öðru af tveim líkönum beitt, Fraunhofer eða Mie. Fraunhofer-líkanið er óháð ljósfræðilegum eiginleikum sýnisins og hentar því vel þegar sýnið er blanda af margskonar efnum (bergtegundum). Það hentar vel til mælinga á kornastærðum sem eru grófari en um það bil 50  $\mu\text{m}$  og getur undir vissum skilyrðum gefið góðan árangur fyrir kornastærðir allt niður undir 1  $\mu\text{m}$ . Mie-líkanið hentar vel fyrir smáar kornastærðir, 50  $\mu\text{m}$  og minni og betur en Fraunhofer-líkanið fyrir mjög smáar stærðir. Hins vegar krefst Mie-líkanið vitneskjum um ýmsa stika aðra sem getur verið erfitt að meta, og þá getur verið álitamál hvort líkanið henti betur, jafnvel þótt smáar kornastærðir eigi í hlut.

Ef þess er kostur er rétt að kanna áhrif ljósfræðilegs líkans á niðurstöður mælingarinnar, sér í lagi ef marktækur hluti sýnisins er undir 10  $\mu\text{m}$ .



VIÐAUKI 2  
SÝNA- OG PRÓFANASKRÁ



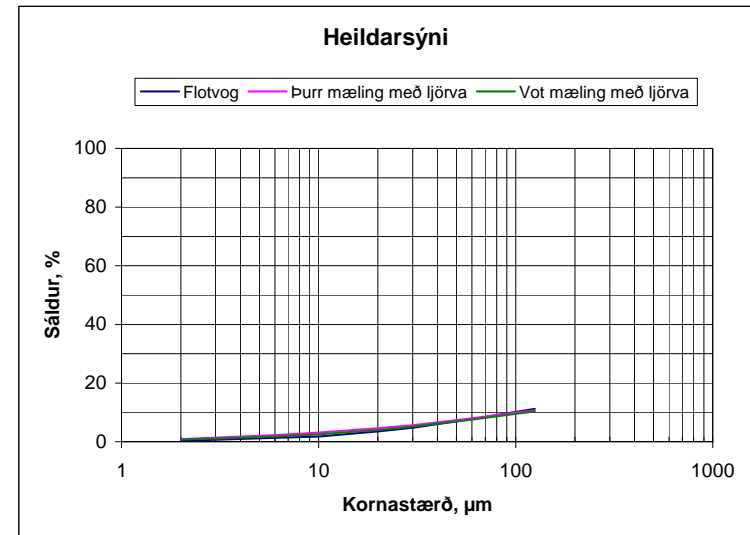
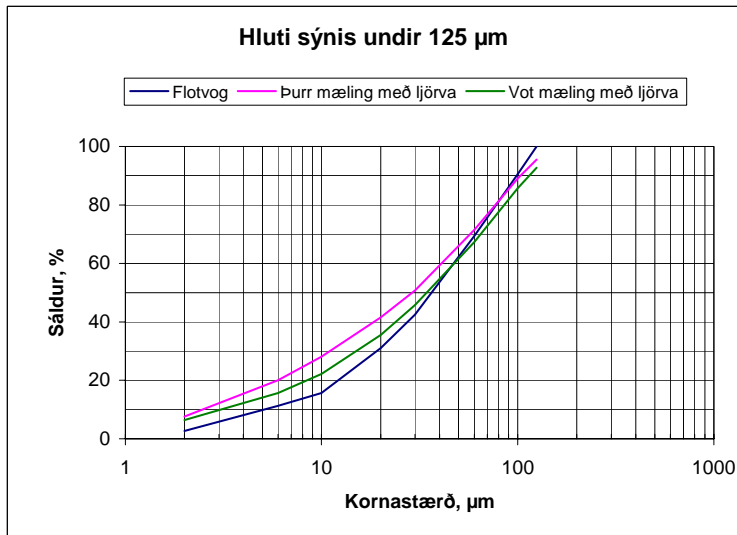
Sáldurgreining smárra korna í steinefnasýnum

Heiti námu	Sýni nr. í viðauka 3	Námunúmer	Sáldurgreining með		
			flotvog (1995)	ljörva (purrr) (2003)	ljörva ( vot) (2003)
Hagaflátir	1	332-02-15	x	x	x
S-Brúarnáma	2	336-01-11	x	x	
Syðra-Langholt	3	340-01-09	x	x	
Hlíðarendanáma	4	342-02-03	x	x	
Stíflisdalur á Mosfellsheiði	5	348-02-03	x	x	
Villingavatn í Grafningi	6	360-02-04	x	x	x
Bolöldur við Suðurlandsveg	7	401-01-02	x	x	x
Kiðafell við Vesturlandsveg, haugur 1	8	401-16-06	x	x	x
Sýrfellsdrög austan Saltverksmiðju á Reykjanesi	10	425-02-03	x	x	
Laxá við Hækingsdal í Kjós	11	448-02-02	x	x	
Laxárberg v. Laxá í Kjósarskarði, haugur 1 (0-16mm)	12	448-02-04	x	x	
Laxárberg v. Laxá í Kjósarskarði, haugur 2 (19mm)	13	448-02-04	x	x	
Norður Reykir	14	518-01-15	x	x	
Sámsstaðahöfði	15	523-02-01	x	x	
Austurá	16	560-02-03	x	x	
Hvalsker	17	612-01-01	x	x	
Skápadalur	18	612-01-02	x	x	
Hafnardalur	19	635-01-01	x	x	
Mýrartungumelur	20	660-03-04	x	x	
Eiði	21	660-11-01	x	x	x
Seljadalsvatn	22	660-16-02	x	x	x
Grjóteyri	23	660-18-03	x	x	
Geldingadalsá	24	660-19-07	x	x	x
Lágidalur 0-19 mm	25	661-04-01	x	x	
Ísafjarðará	27	661-06-02	x	x	
Hvítanes	28	661-13-01	x	x	
Hestfjarðarkot	29	661-13-02	x	x	
Seljadalur	30	661-25-01	x	x	x
Hamar	31	662-02-02	x	x	
Kerhóll	32	715-01-01	x	x	x
Hnausanáma	33	722-02-02	x	x	
Hraunsnáma	34	776-09-01	x	x	
Hrísgerði	35	801-14-04	x	x	
Námaskarði	36	801-23-02	x	x	x
Gilsbakki	37	824-01-02	x	x	
Rípill	38	882-05-09	x	x	
Víkurhólar	39	883-02-02	x	x	x
Hestháls í hlíðum 50-150 m ofan vegar	40	901-18-03	x	x	
Hamarsá	41	901-28-02	x	x	
Hornsvegur 1,6 km frá Austurl.v. í keilu v/Sellæk	42	901-36-05	x	x	
Brunnar	43	901-41-02	x	x	
Hrútagil, innan við gjlið og neðan vegar	44	917-06-05	x	x	x
Eyrará, áreyrar neðan vegar	45	996-02-09	x	x	
Hvanná	46	996-03-02	x	x	
Færvallaskriður, skriða við og ofan vegar	47	996-11-01	x	x	x
Arnstapi	49	801-15-05	x	x	x
Kjóafell (á sennilega að vera Kiðafell)	50	óvíst	x	x	

VIÐAUKI 3  
NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA

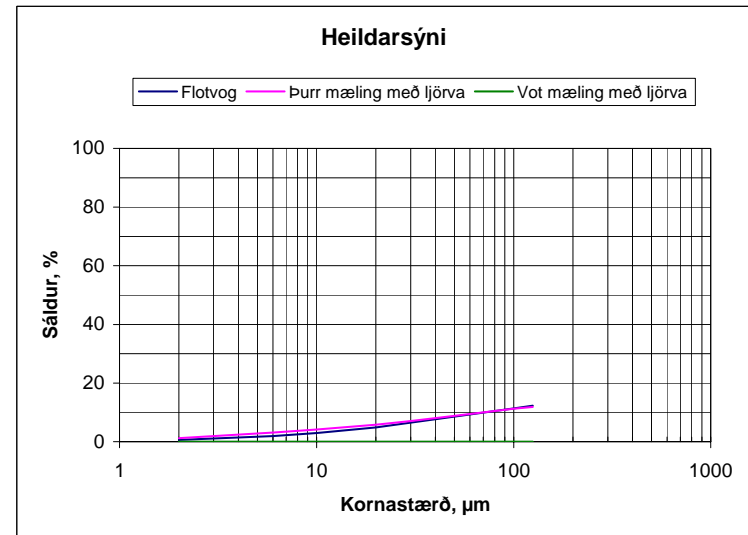
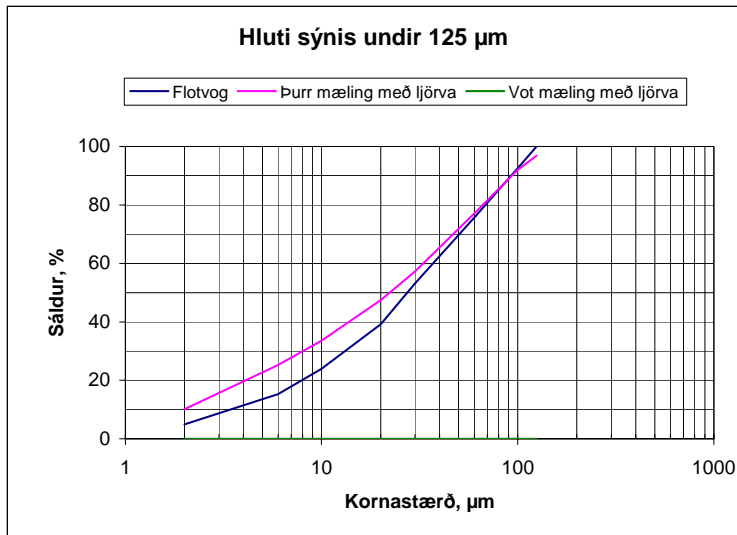
Sýni nr: **1** Náma: **S01 Hagaflatir**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	90,6	69,4	42,5	31,0	15,7	11,3	2,7
Þurr mæling með ljörva	95,5	89,1	71,4	50,7	41,5	28,1	20,1	7,6
Vot mæling með ljörva	92,7	85,7	67,3	45,8	35,6	22,2	15,7	6,5
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	11,1	10,1	7,7	4,7	3,5	1,7	1,3	0,3
Þurr mæling með ljörva	10,6	9,9	8,0	5,6	4,6	3,1	2,2	0,8
Vot mæling með ljörva	10,3	9,5	7,5	5,1	4,0	2,5	1,8	0,7



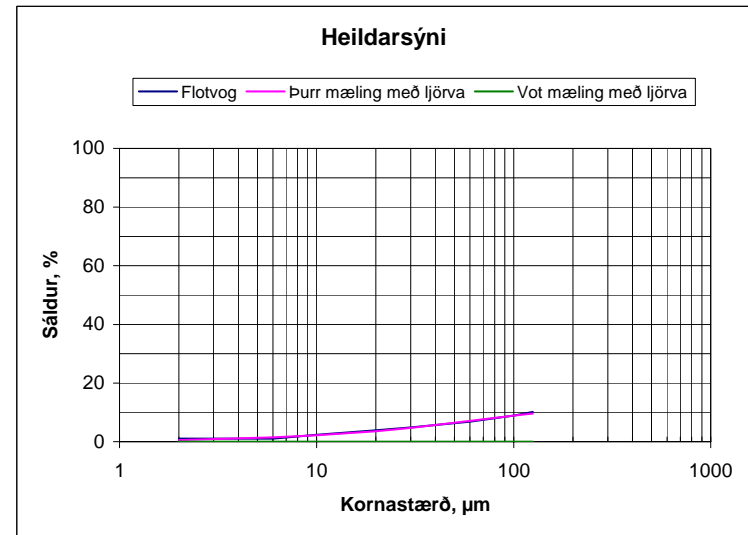
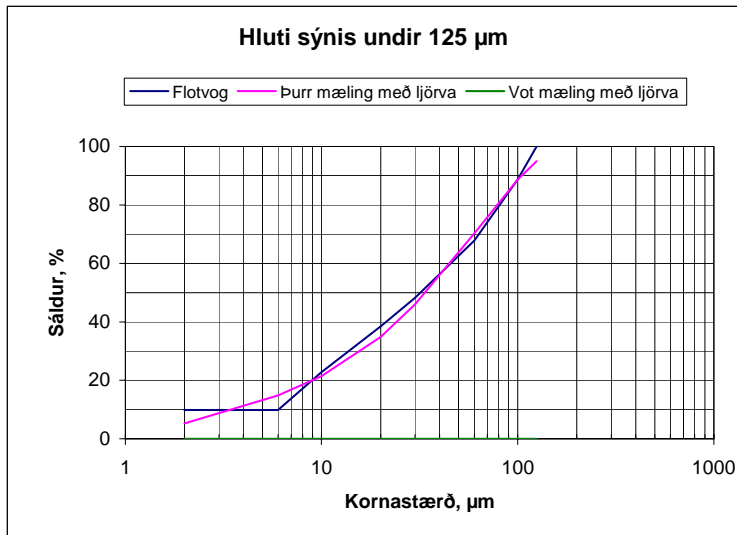
Sýni nr: **2** Náma: **S02 S-Brúarnáma**

Flokkur μm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 μm:</b>								
Flotvog	100,0	92,5	75,7	53,2	39,2	24,0	15,3	5,0
Þurr mæling með ljörva	96,9	92,0	77,1	57,2	47,4	33,6	25,3	10,1
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	12,3	11,3	9,3	6,5	4,8	2,9	1,9	0,6
Þurr mæling með ljörva	11,9	11,3	9,5	7,0	5,8	4,1	3,1	1,2
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



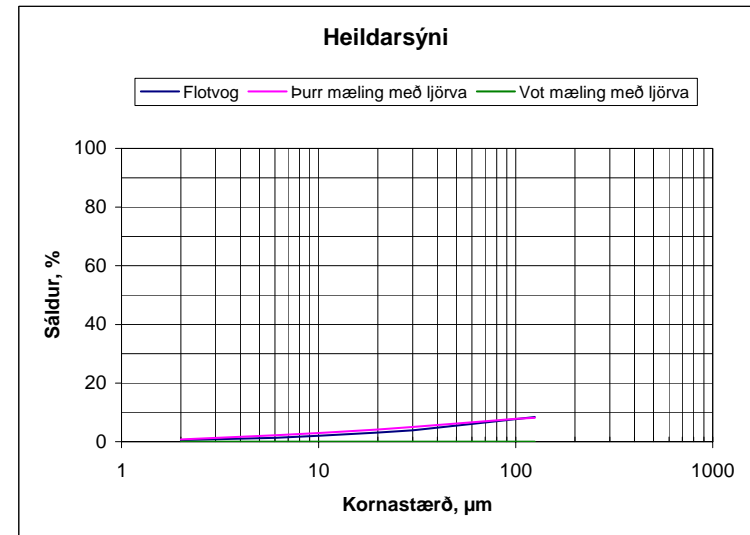
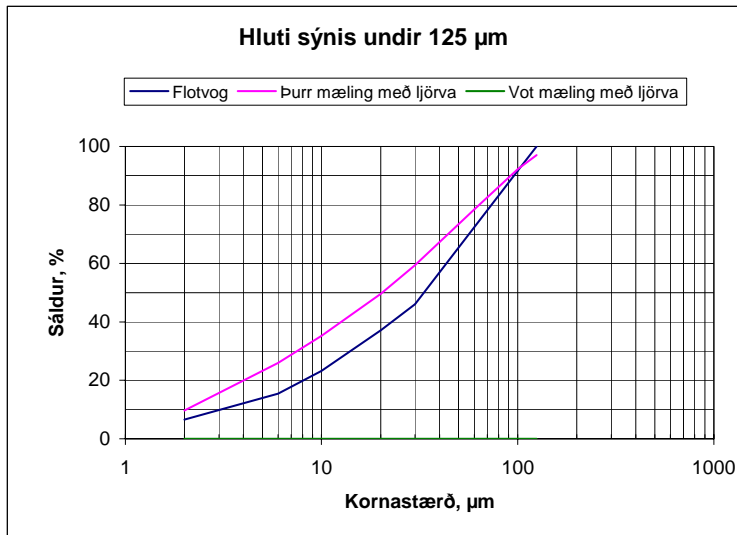
Sýni nr: **3** Náma: **S03 Syðra-Langholt**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	88,8	67,8	48,3	38,5	22,8	9,9	9,9
Þurr mæling með ljörva	95,0	88,7	70,3	45,9	34,9	21,5	14,8	5,3
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	10,1	8,9	6,8	4,9	3,9	2,3	1,0	1,0
Þurr mæling með ljörva	9,6	8,9	7,1	4,6	3,5	2,2	1,5	0,5
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



Sýni nr: **4** Náma: **S04 Hlíðarendanáma**

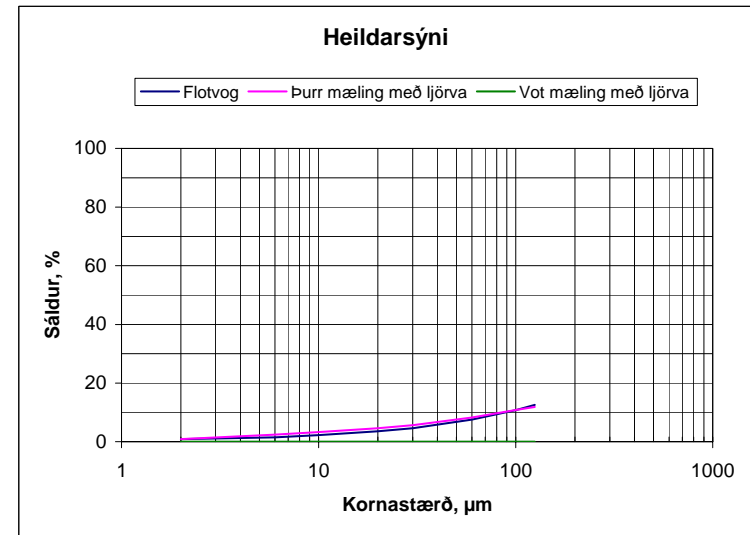
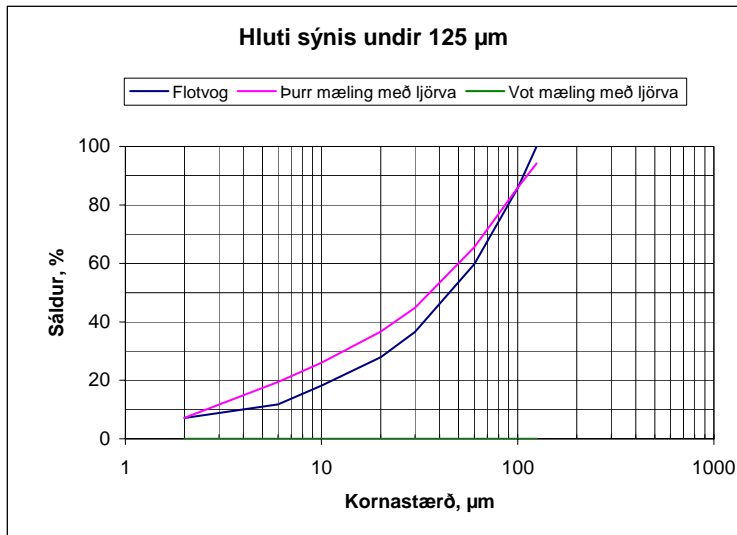
Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	91,7	72,4	46,1	37,1	23,3	15,5	6,6
Þurr mæling með ljörva	97,0	92,2	78,5	59,4	49,6	35,2	25,9	9,7
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	8,4	7,7	6,1	3,9	3,1	2,0	1,3	0,6
Þurr mæling með ljörva	8,2	7,8	6,6	5,0	4,2	3,0	2,2	0,8
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0





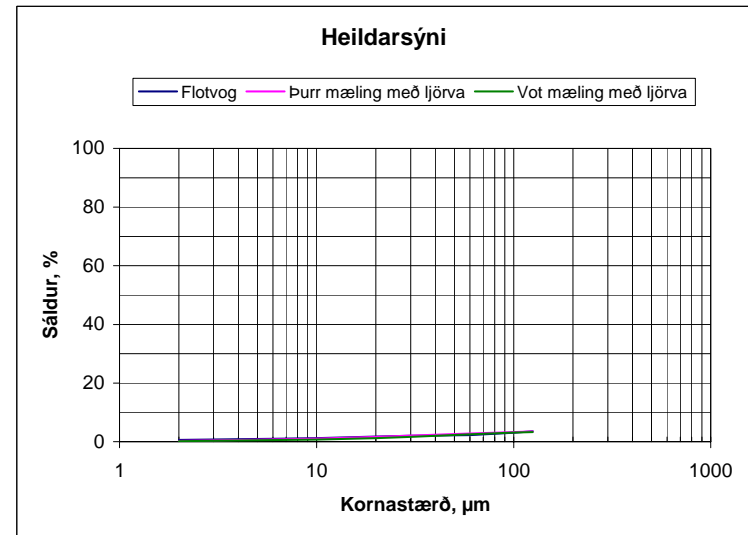
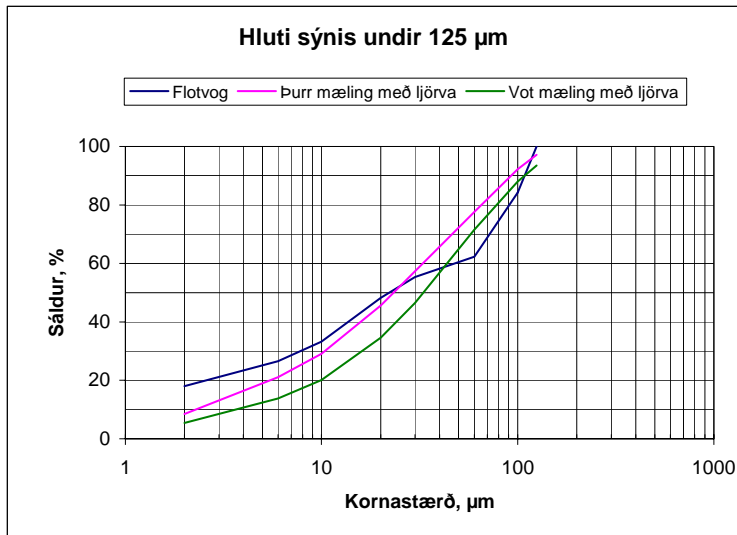
Sýni nr: **5** Náma: **S05 Stíflisdalur**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	85,8	59,7	36,6	27,9	18,2	11,8	7,1
Þurr mæling með ljörva	94,2	85,8	65,6	44,9	36,7	26,0	19,4	7,2
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	12,6	10,8	7,5	4,6	3,5	2,3	1,5	0,9
Þurr mæling með ljörva	11,8	10,8	8,2	5,6	4,6	3,3	2,4	0,9
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



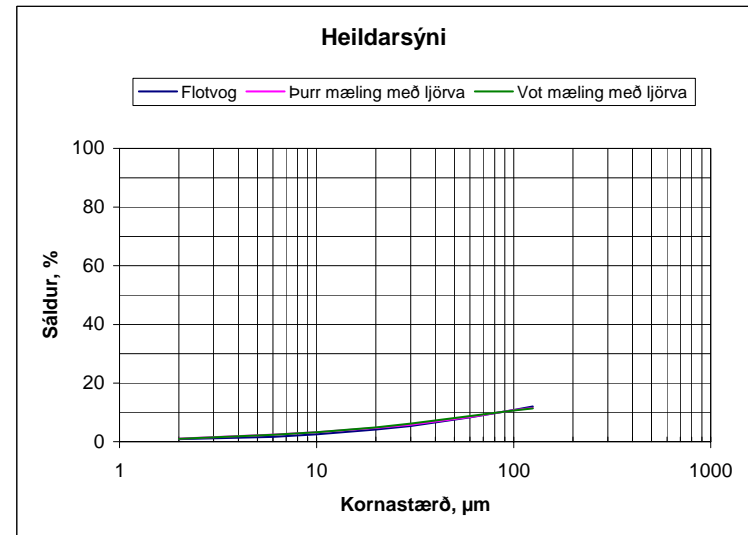
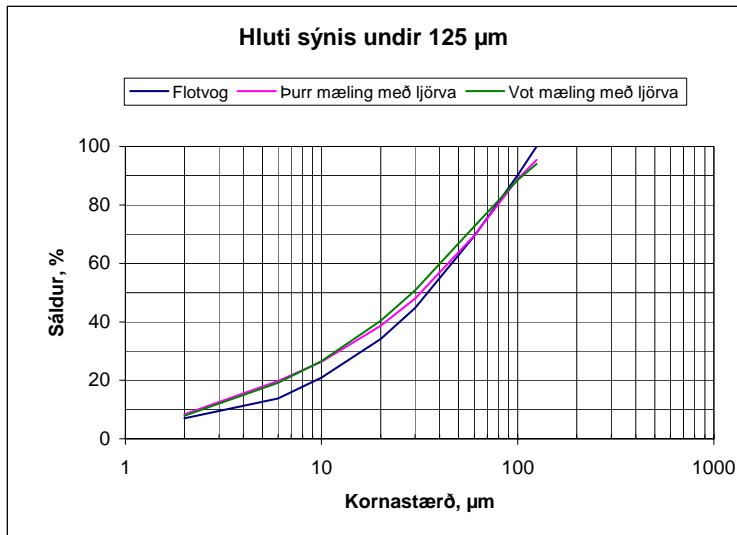
Sýni nr: **6** Náma: **S06 Villingavatn**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	84,2	62,2	55,4	48,3	33,2	26,6	18,1
Þurr mæling með ljörva	97,1	92,2	77,6	57,3	45,6	29,1	21,0	8,5
Vot mæling með ljörva	93,5	88,1	71,6	46,5	34,6	20,1	13,8	5,5
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	3,6	3,0	2,2	2,0	1,7	1,2	0,9	0,6
Þurr mæling með ljörva	3,5	3,3	2,8	2,0	1,6	1,0	0,7	0,3
Vot mæling með ljörva	3,3	3,1	2,5	1,7	1,2	0,7	0,5	0,2



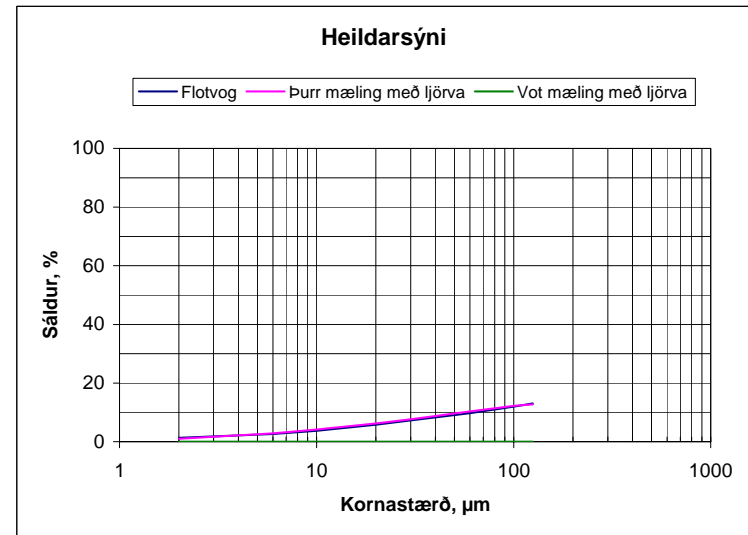
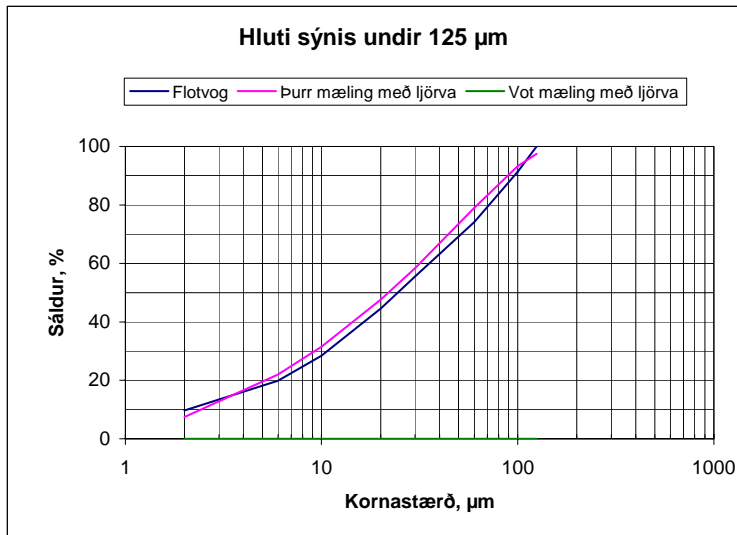
Sýni nr: **7** Náma: **S07 Bolöldur**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	90,2	69,4	44,8	34,2	20,9	13,8	7,1
Þurr mæling með ljörva	95,4	88,9	69,5	48,0	38,7	26,3	19,8	8,4
Vot mæling með ljörva	94,0	88,5	72,7	50,7	40,4	26,5	19,2	7,9
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	12,0	10,8	8,3	5,4	4,1	2,5	1,7	0,8
Þurr mæling með ljörva	11,5	10,7	8,4	5,8	4,7	3,2	2,4	1,0
Vot mæling með ljörva	11,3	10,6	8,7	6,1	4,9	3,2	2,3	0,9



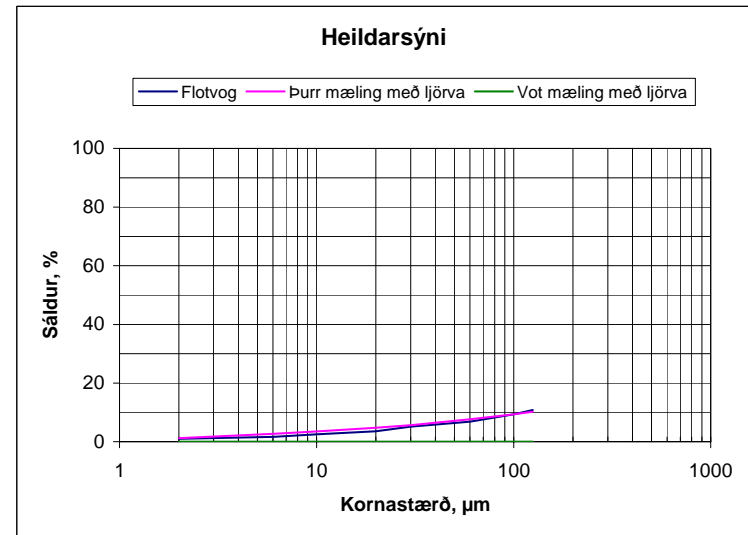
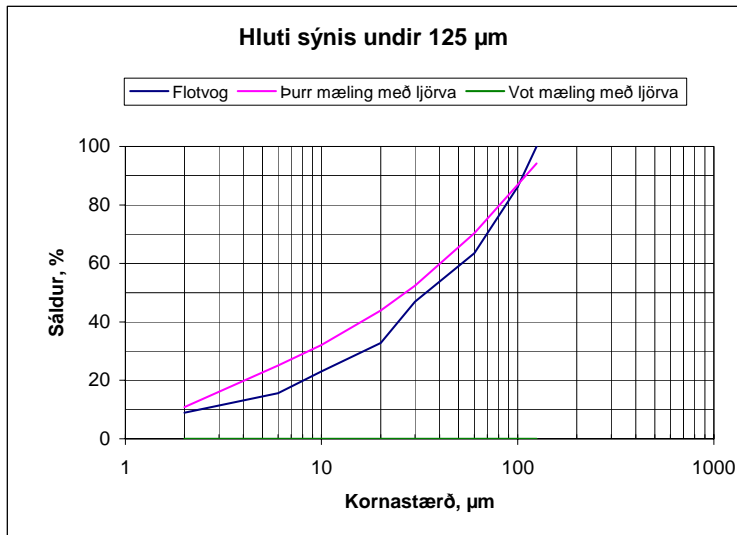
Sýni nr: **8** Náma: **S08 Kiðafell, haugur 1**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	91,3	74,2	55,5	44,6	28,5	19,8	9,7
Þurr mæling með ljörva	97,5	93,2	79,0	58,4	47,6	31,4	22,1	7,5
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	13,1	11,9	9,7	7,3	5,8	3,7	2,6	1,3
Þurr mæling með ljörva	12,8	12,2	10,3	7,6	6,2	4,1	2,9	1,0
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



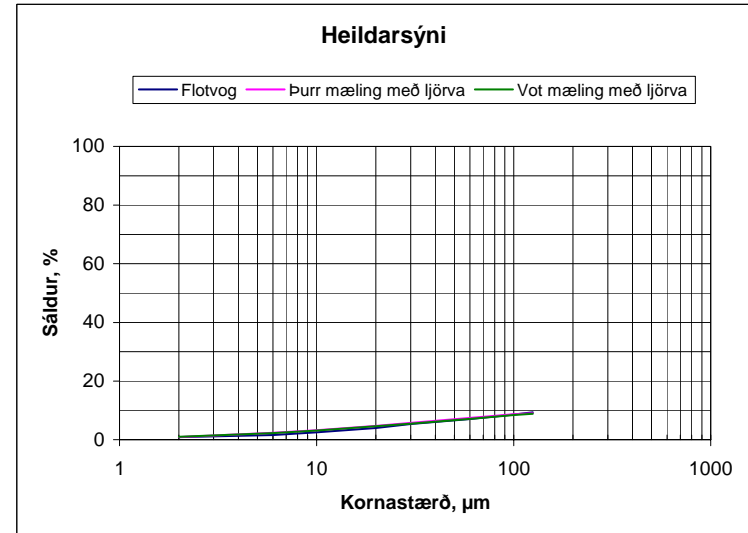
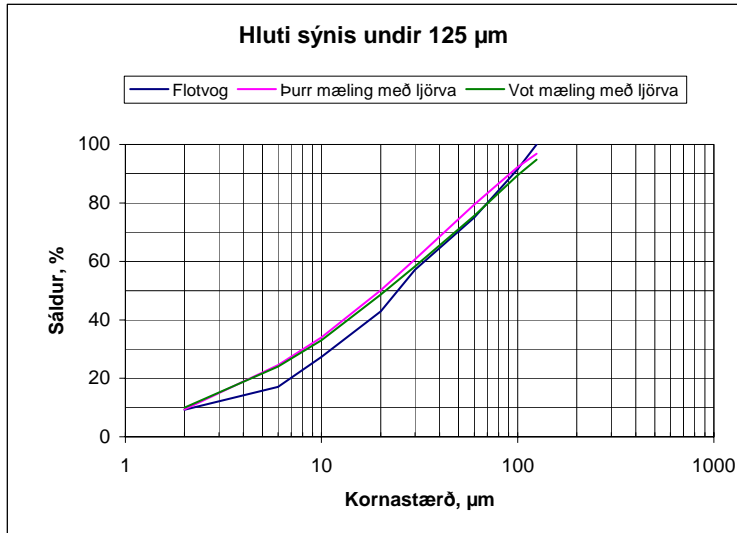
Sýni nr: **10** Náma: **S10 Sýrfellsdrög**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	86,2	63,5	47,0	32,8	23,1	15,6	9,0
Þurr mæling með ljörva	94,2	86,9	70,3	52,4	43,9	32,1	25,1	10,9
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	10,8	9,3	6,8	5,1	3,5	2,5	1,7	1,0
Þurr mæling með ljörva	10,2	9,4	7,6	5,7	4,7	3,5	2,7	1,2
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



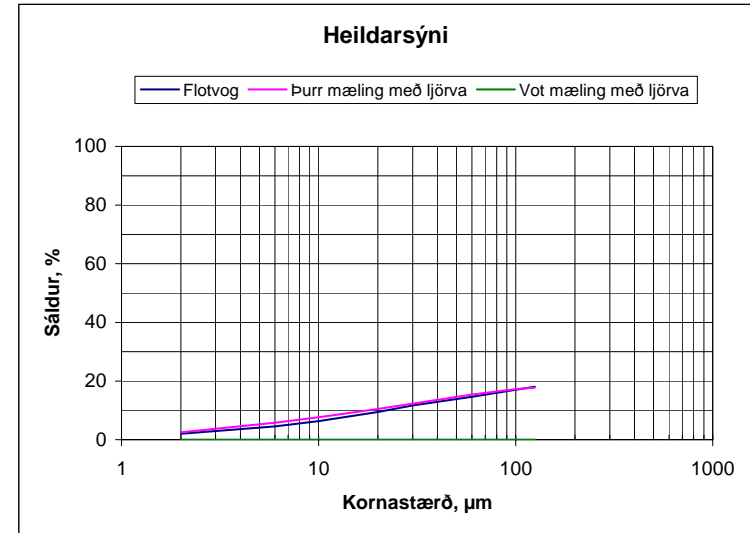
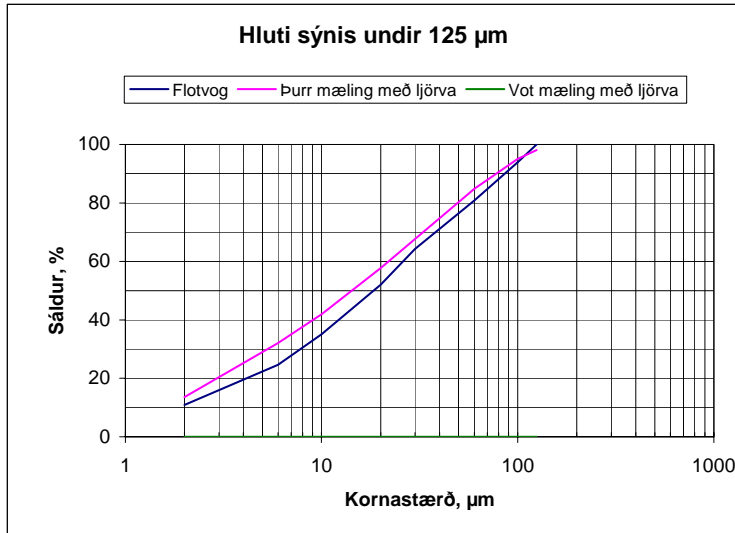
Sýni nr: **11** Náma: **S11 Laxá við Hækingsdal í Kjós**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	91,5	75,0	57,1	42,9	27,3	17,1	9,3
Þurr mæling með ljörva	96,8	92,3	79,4	60,7	50,1	34,0	24,6	9,4
Vot mæling með ljörva	94,8	89,5	75,6	58,3	48,6	33,0	24,0	9,9
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	9,3	8,6	7,0	5,3	4,0	2,5	1,6	0,9
Þurr mæling með ljörva	9,0	8,6	7,4	5,7	4,7	3,2	2,3	0,9
Vot mæling með ljörva	8,9	8,4	7,1	5,4	4,5	3,1	2,2	0,9



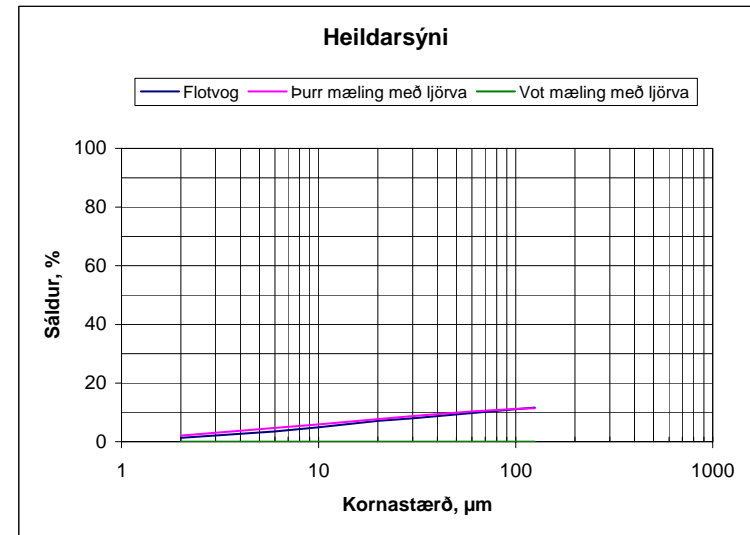
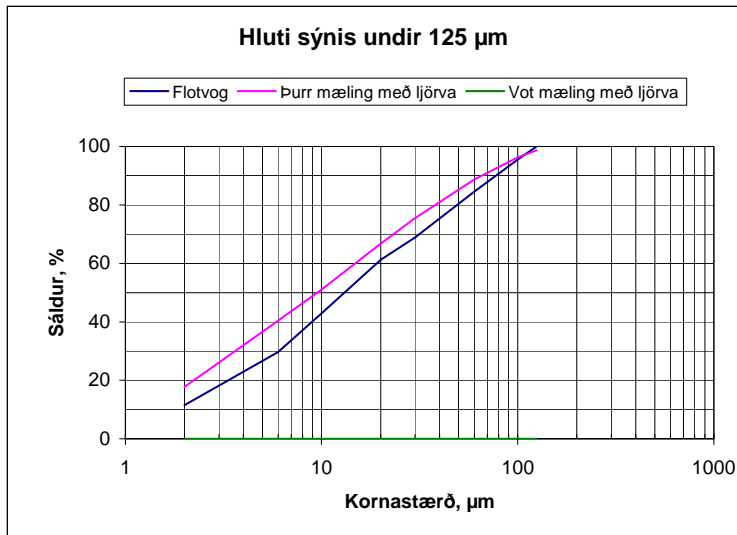
Sýni nr: **12** Náma: **S12 Laxárberg, haugur 1 (0-16mm)**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	94,0	80,9	64,3	52,0	35,0	24,7	10,9
Þurr mæling með ljörva	98,1	95,0	84,9	67,6	57,8	41,9	32,1	13,6
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	18,1	17,0	14,6	11,6	9,4	6,3	4,5	2,0
Þurr mæling með ljörva	17,8	17,2	15,4	12,2	10,5	7,6	5,8	2,5
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



Sýni nr: **13** Náma: **S13 Laxárberg, haugur 2 (19mm)**

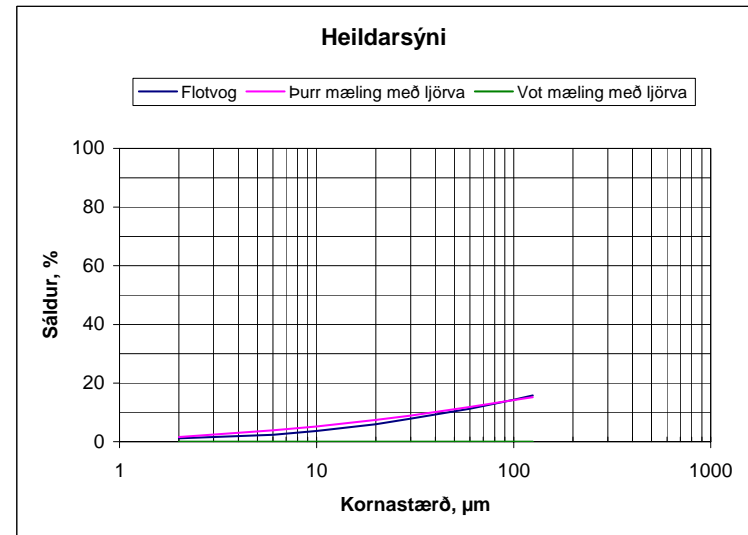
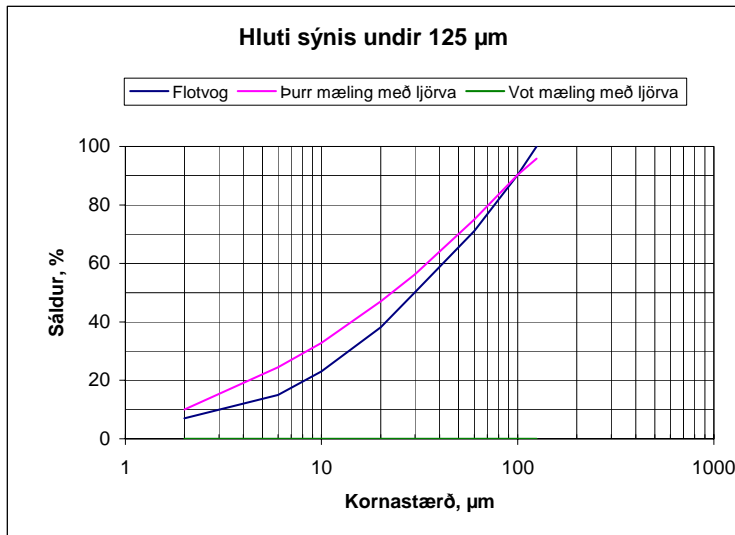
Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	95,5	84,6	68,9	61,2	42,8	29,6	11,5
Þurr mæling með ljörva	98,7	96,3	88,8	75,4	66,8	51,0	40,4	17,7
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	11,6	11,1	9,8	8,0	7,1	5,0	3,4	1,3
Þurr mæling með ljörva	11,4	11,1	10,3	8,7	7,7	5,9	4,7	2,1
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0





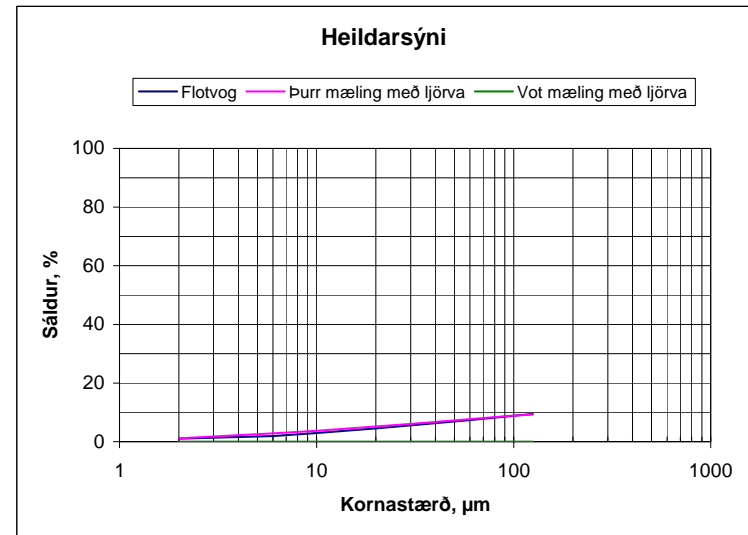
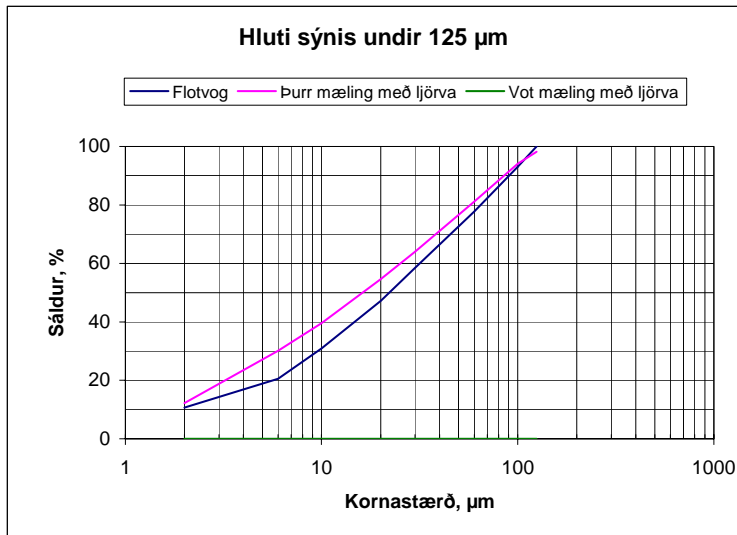
Sýni nr: **14** Náma: **S14 Norður Reykir**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	90,3	71,1	50,1	38,1	23,1	15,0	7,0
Þurr mæling með ljörva	95,8	90,3	75,1	56,3	47,0	32,8	24,4	10,1
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	15,8	14,2	11,2	7,9	6,0	3,6	2,4	1,1
Þurr mæling með ljörva	15,1	14,2	11,8	8,9	7,4	5,2	3,9	1,6
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



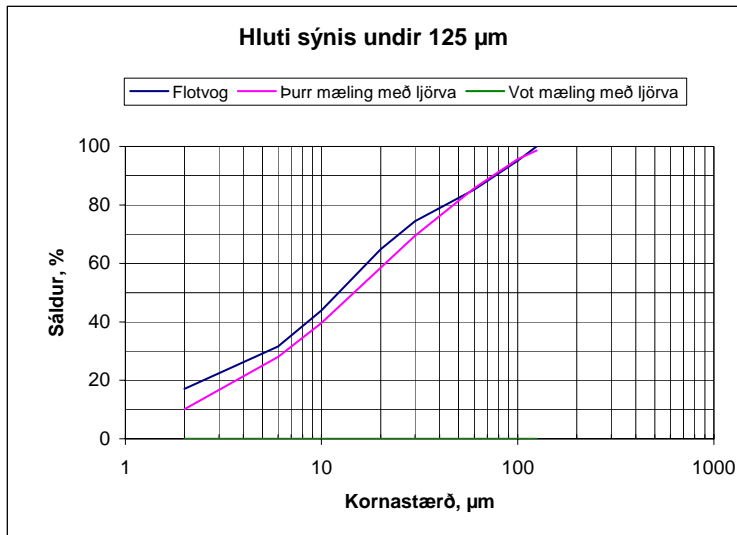
Sýni nr: **15** Náma: **S15 Sámsstaðahöfði**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	93,0	77,8	58,5	47,2	30,9	20,6	10,7
Þurr mæling með ljörva	98,1	94,1	81,1	64,0	54,6	39,6	30,1	12,3
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	9,4	8,8	7,4	5,5	4,5	2,9	1,9	1,0
Þurr mæling með ljörva	9,3	8,9	7,7	6,0	5,2	3,7	2,8	1,2
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



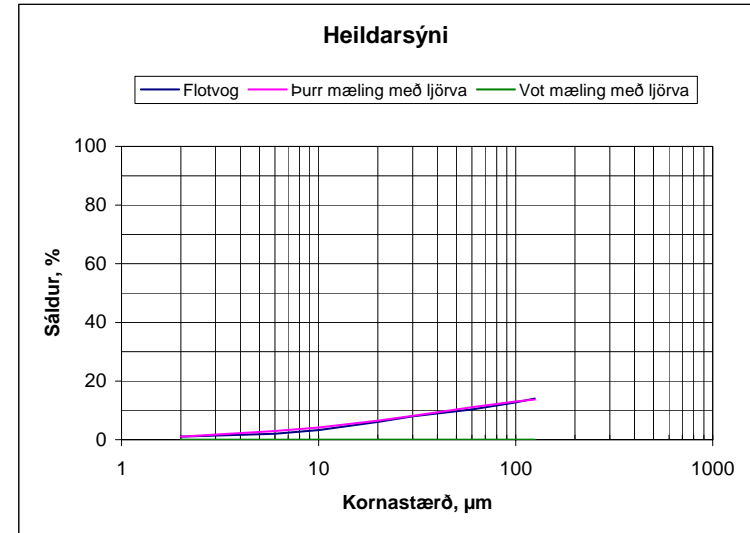
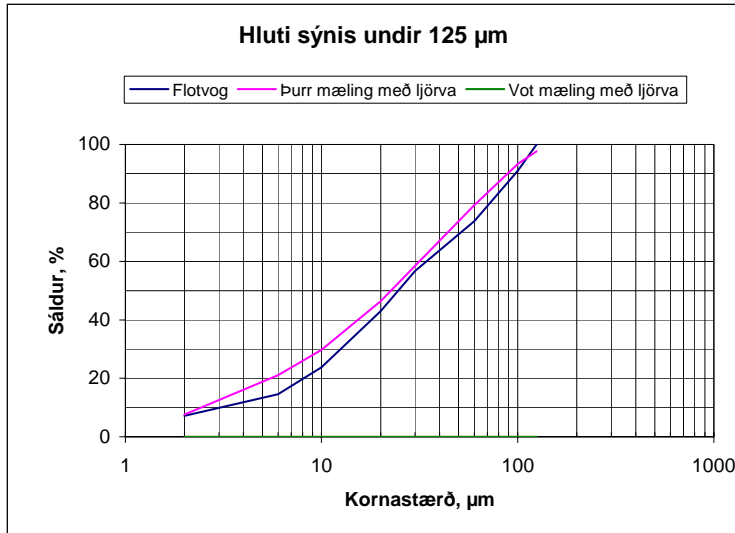
Sýni nr: **16** Náma: **S16 Austurá**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	95,1	85,3	74,4	64,9	43,9	31,6	17,1
Þurr mæling með ljörva	98,6	95,7	85,7	69,5	58,5	39,7	28,0	10,1
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	12,5	11,9	10,7	9,3	8,1	5,5	3,9	2,1
Þurr mæling með ljörva	12,3	12,0	10,7	8,7	7,3	5,0	3,5	1,3
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



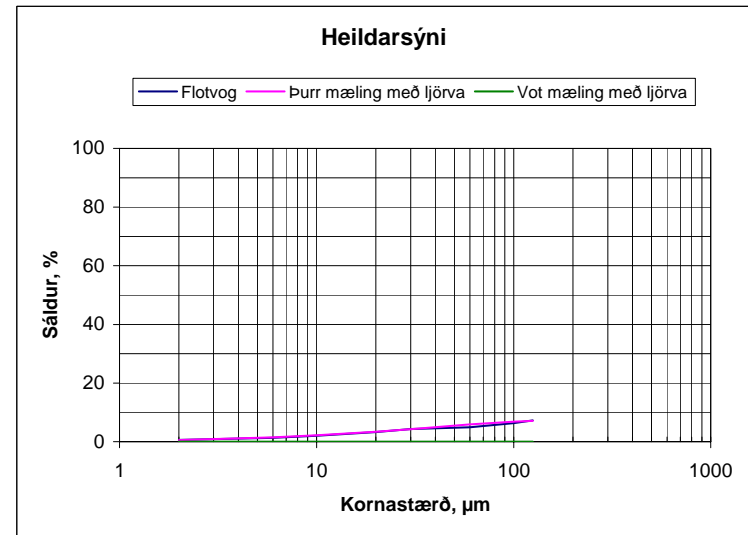
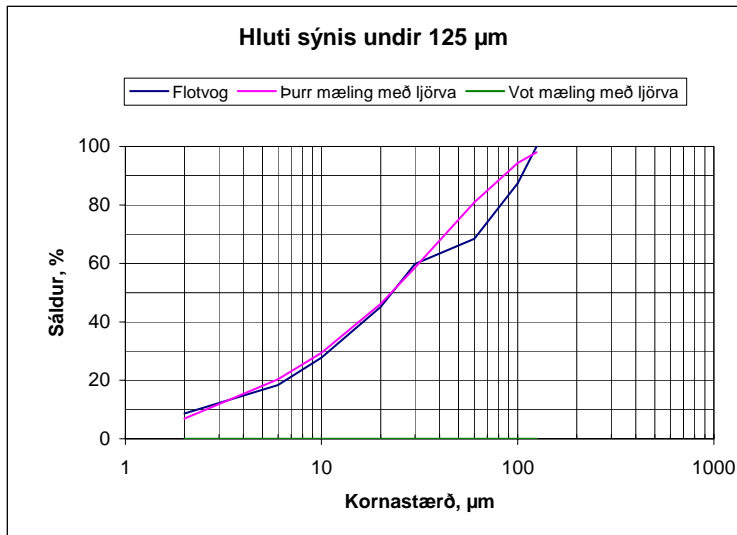
Sýni nr: **17** Náma: **S17 Hvalsker**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	91,0	73,8	56,7	43,0	23,8	14,5	7,2
Þurr mæling með ljörva	97,7	93,3	79,3	58,4	46,4	29,7	21,1	7,7
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	14,0	12,7	10,3	7,9	6,0	3,3	2,0	1,0
Þurr mæling með ljörva	13,6	13,0	11,1	8,2	6,5	4,2	2,9	1,1
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



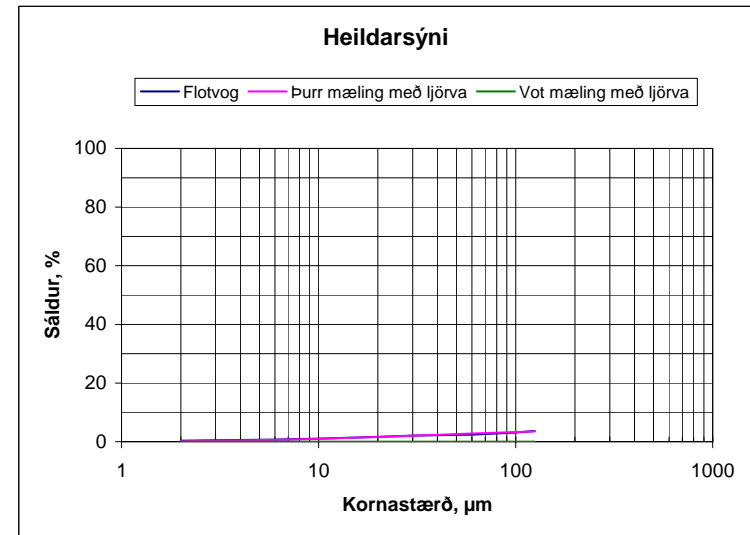
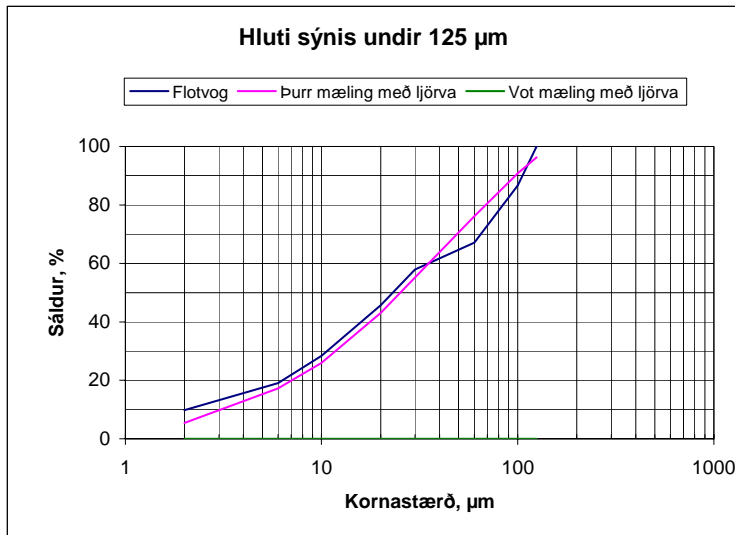
Sýni nr: **18** Náma: **S18 Skápadalur**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	87,4	68,5	59,8	45,2	27,7	18,4	8,7
Þurr mæling með ljörva	98,0	94,3	80,9	58,6	46,3	29,4	20,4	6,9
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	7,3	6,4	5,0	4,3	3,3	2,0	1,3	0,6
Þurr mæling með ljörva	7,1	6,9	5,9	4,3	3,4	2,1	1,5	0,5
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



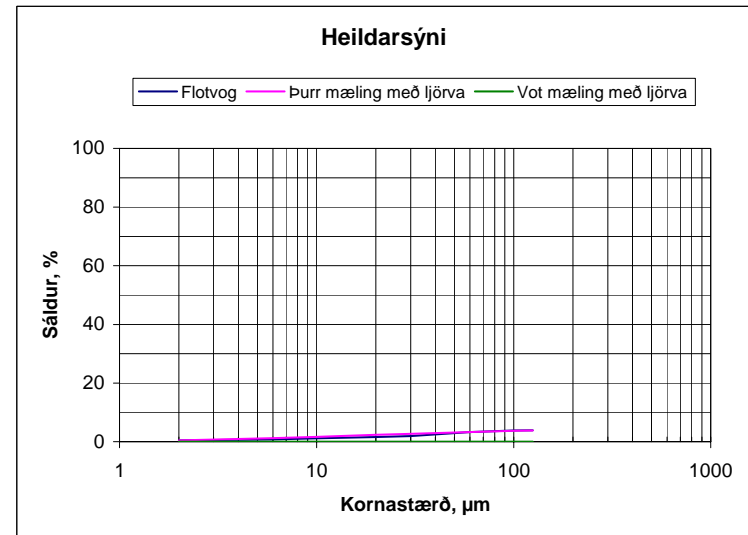
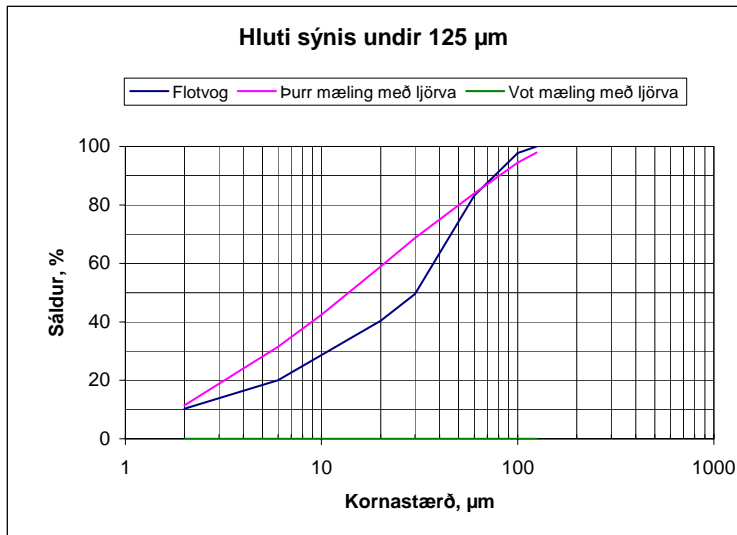
Sýni nr: **19** Náma: **S19 Hafnardalur**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	86,7	67,2	58,0	45,7	28,4	19,1	9,8
Þurr mæling með ljörva	96,3	90,8	76,2	55,1	43,1	26,0	17,3	5,5
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	3,6	3,1	2,4	2,1	1,6	1,0	0,7	0,4
Þurr mæling með ljörva	3,5	3,3	2,7	2,0	1,6	0,9	0,6	0,2
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



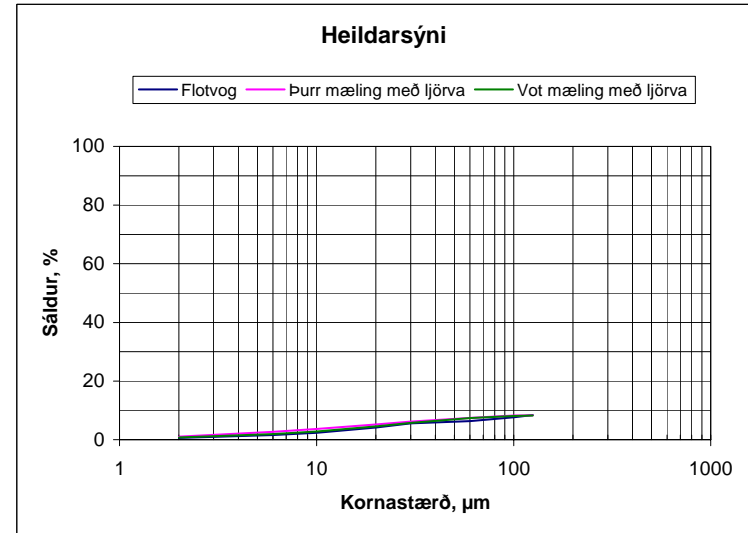
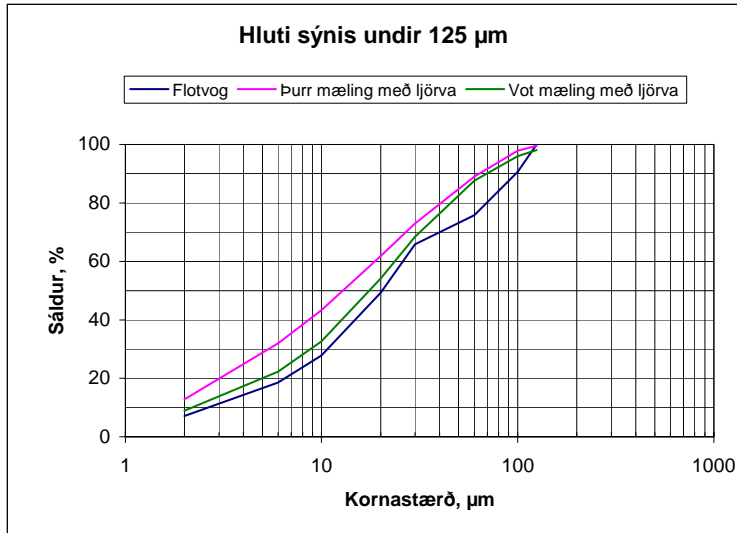
Sýni nr: **20** Náma: **S20 Mýrartungumelur**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	97,8	83,3	49,5	40,4	28,6	20,0	10,3
Þurr mæling með ljörva	97,9	94,4	83,9	68,7	59,0	42,4	31,5	11,4
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	3,9	3,8	3,3	1,9	1,6	1,1	0,8	0,4
Þurr mæling með ljörva	3,8	3,7	3,3	2,7	2,3	1,7	1,2	0,4
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



Sýni nr: **21** Náma: **S21 Eiði**

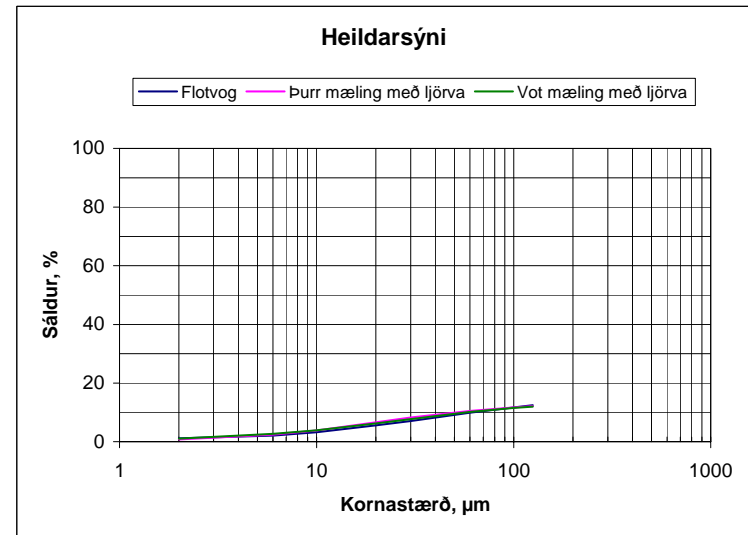
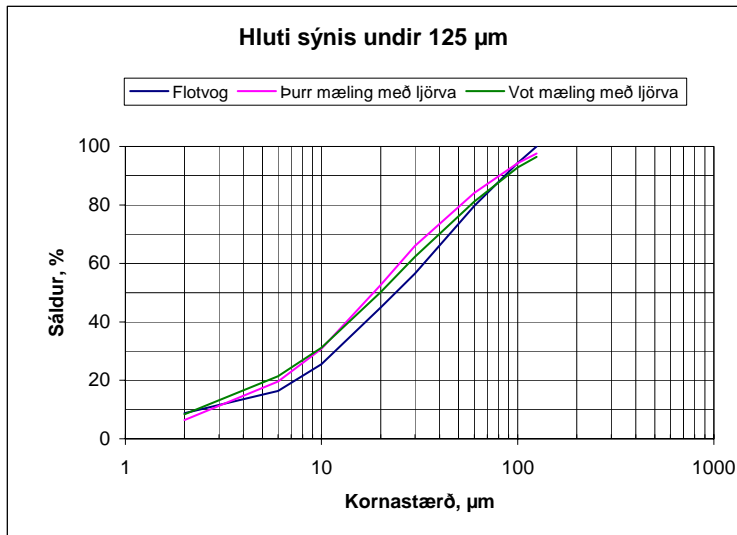
Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	90,6	75,8	65,9	49,4	27,8	18,6	7,1
Þurr mæling með ljörva	99,6	97,8	89,0	72,9	61,9	43,3	32,0	12,8
Vot mæling með ljörva	98,1	96,0	87,6	68,4	54,2	32,6	22,3	8,9
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	8,4	7,6	6,3	5,5	4,1	2,3	1,6	0,6
Þurr mæling með ljörva	8,3	8,2	7,4	6,1	5,2	3,6	2,7	1,1
Vot mæling með ljörva	8,2	8,0	7,3	5,7	4,5	2,7	1,9	0,7





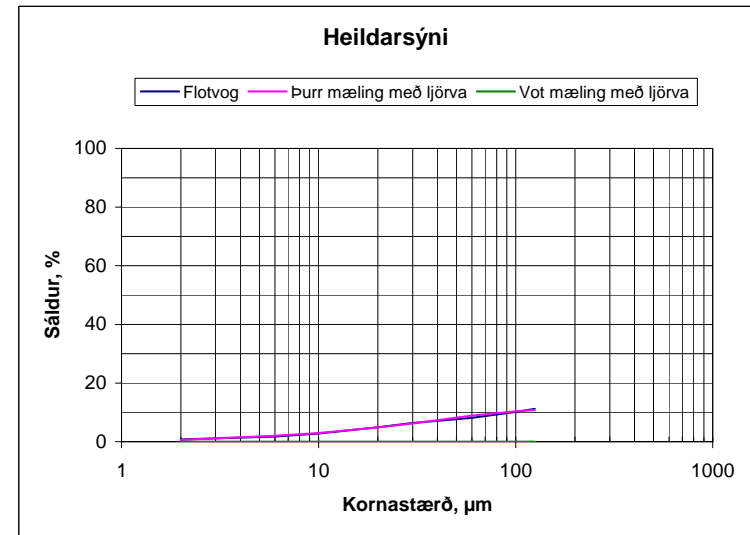
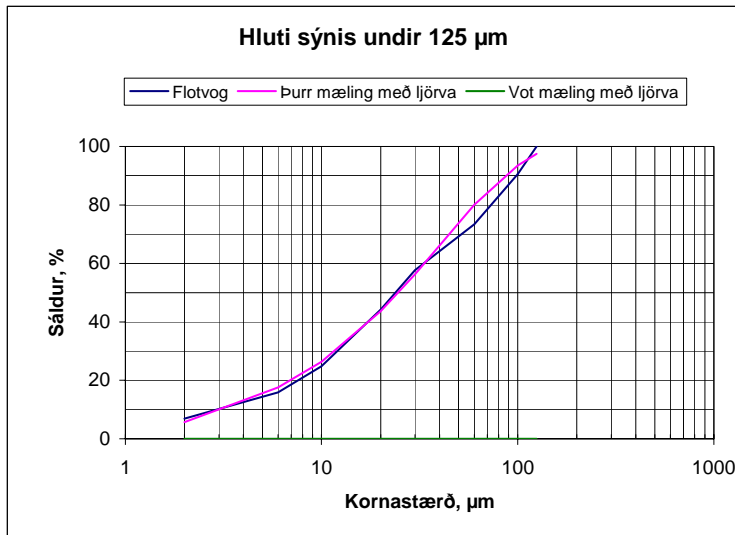
Sýni nr: **22** Náma: **S22 Seljadalsvatn**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	94,4	79,7	56,6	44,9	25,5	16,4	8,8
Þurr mæling með ljörva	97,6	94,3	84,2	66,0	52,7	30,8	19,6	6,4
Vot mæling með ljörva	96,4	92,8	81,2	62,3	50,2	31,2	21,4	8,5
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	12,4	11,7	9,9	7,0	5,6	3,2	2,0	1,1
Þurr mæling með ljörva	12,1	11,7	10,5	8,2	6,5	3,8	2,4	0,8
Vot mæling með ljörva	12,0	11,5	10,1	7,7	6,2	3,9	2,7	1,1



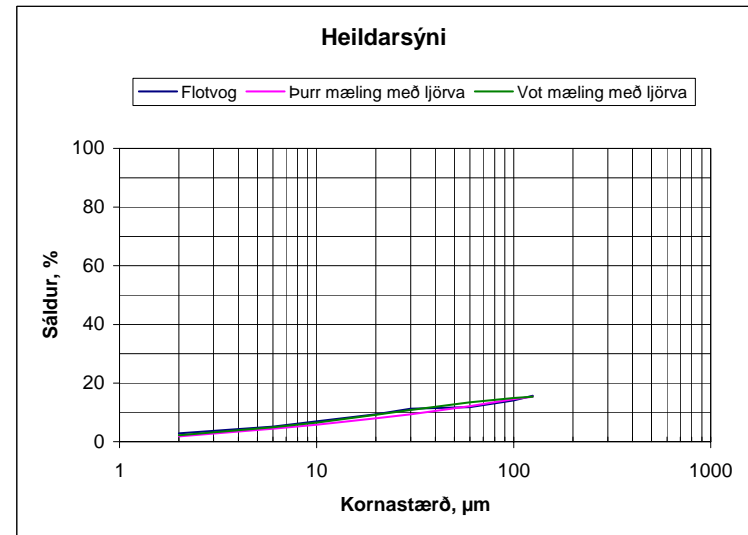
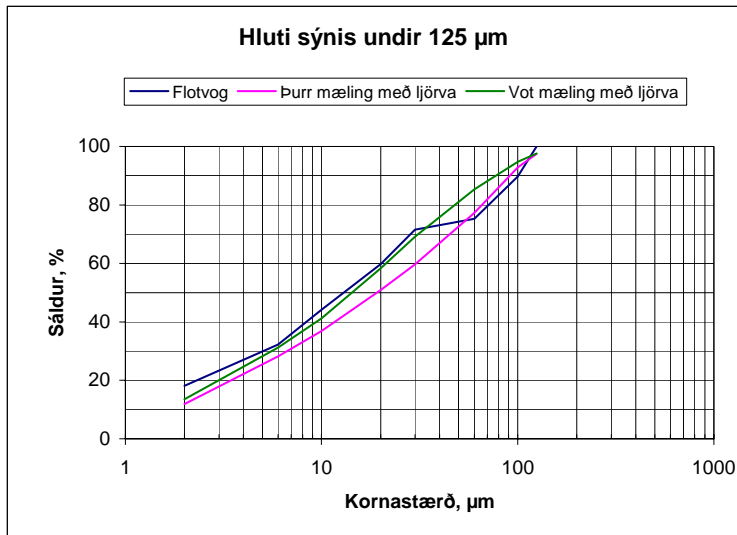
Sýni nr: **23** Náma: **S23 Grjóteyri**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	90,6	73,3	57,7	44,2	24,8	15,9	7,0
Þurr mæling með ljörva	97,5	93,5	80,1	56,3	43,7	26,4	17,6	5,7
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	11,1	10,1	8,2	6,4	4,9	2,8	1,8	0,8
Þurr mæling með ljörva	10,9	10,4	8,9	6,3	4,9	2,9	2,0	0,6
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



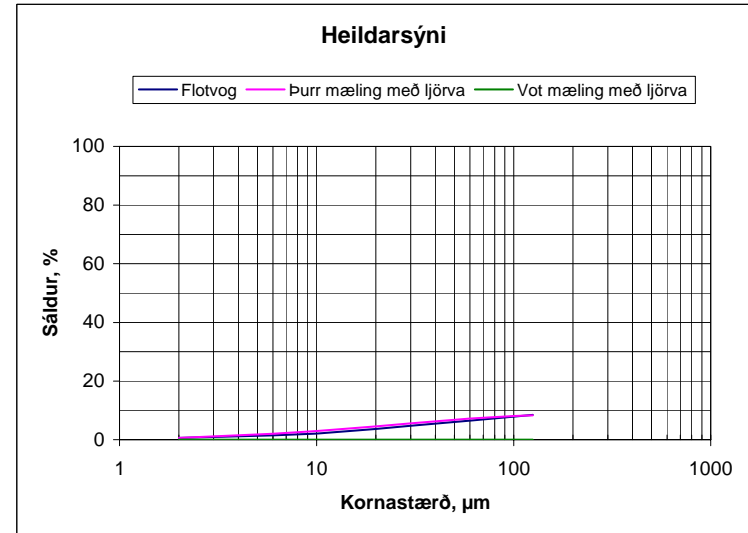
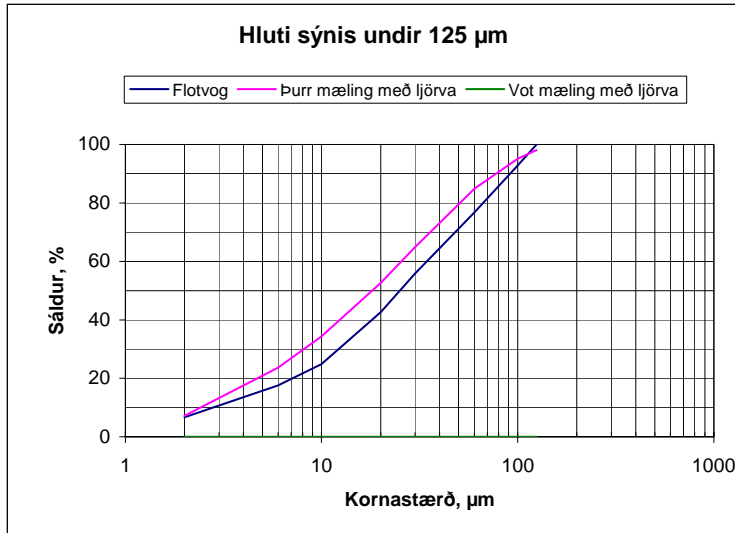
Sýni nr: **24** Náma: **S24 Geldingadalsá**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	89,7	75,2	71,6	59,8	44,1	32,3	18,2
Þurr mæling með ljörva	97,5	92,8	77,2	59,7	50,9	36,9	28,2	11,8
Vot mæling með ljörva	97,5	94,7	85,4	69,1	58,4	41,2	31,2	13,5
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	15,7	14,1	11,8	11,2	9,4	6,9	5,1	2,8
Þurr mæling með ljörva	15,3	14,6	12,1	9,4	8,0	5,8	4,4	1,9
Vot mæling með ljörva	15,3	14,9	13,4	10,8	9,2	6,5	4,9	2,1



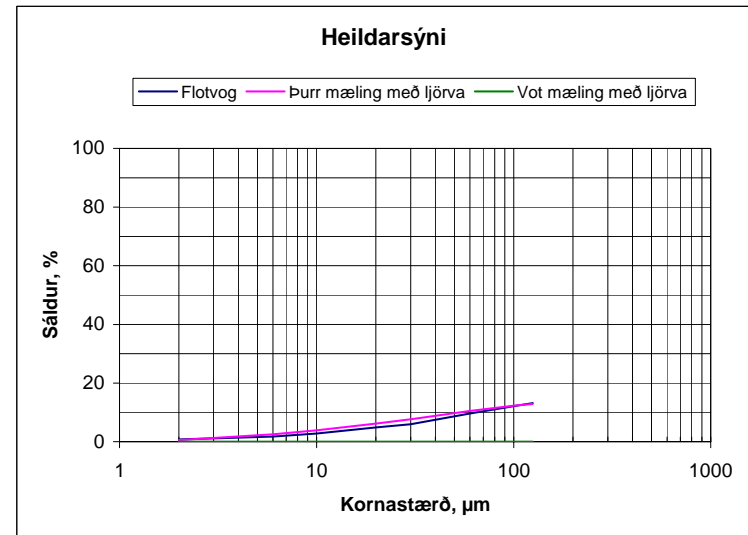
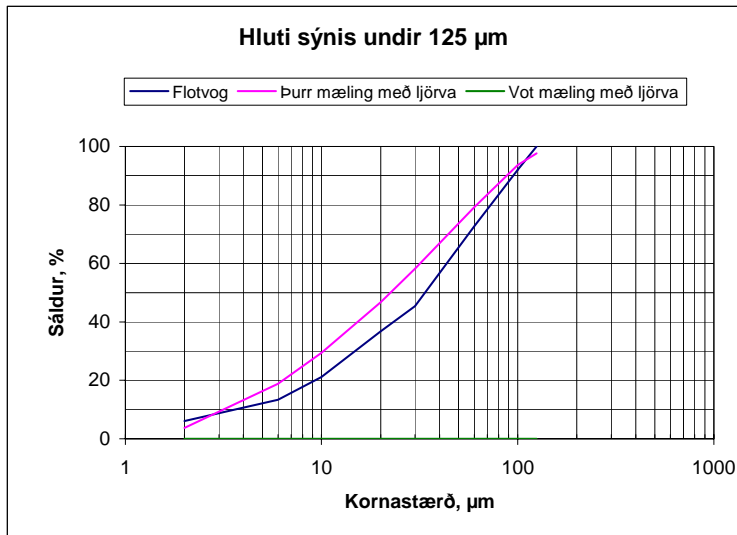
Sýni nr: **25** Náma: **S25/26 Lágidalur**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	92,8	76,8	55,8	42,7	24,9	17,6	6,7
Þurr mæling með ljörva	98,1	95,1	84,9	64,9	52,6	34,4	23,7	7,2
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	8,5	7,9	6,5	4,7	3,6	2,1	1,5	0,6
Þurr mæling með ljörva	8,3	8,1	7,2	5,5	4,5	2,9	2,0	0,6
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



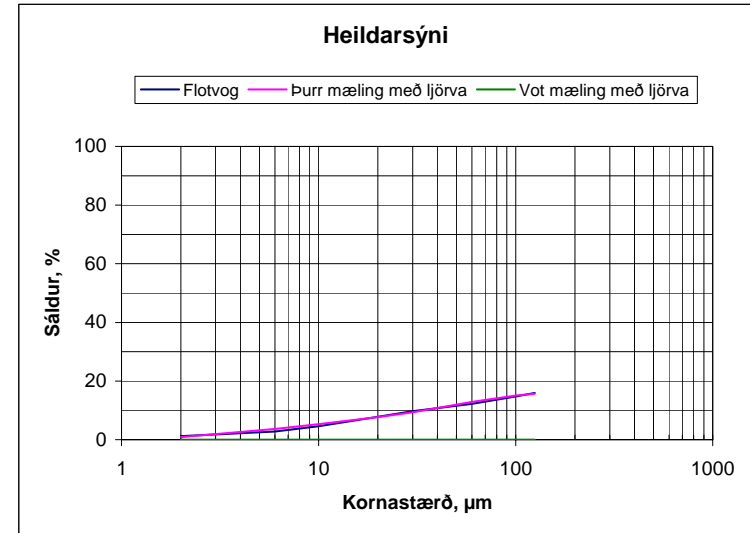
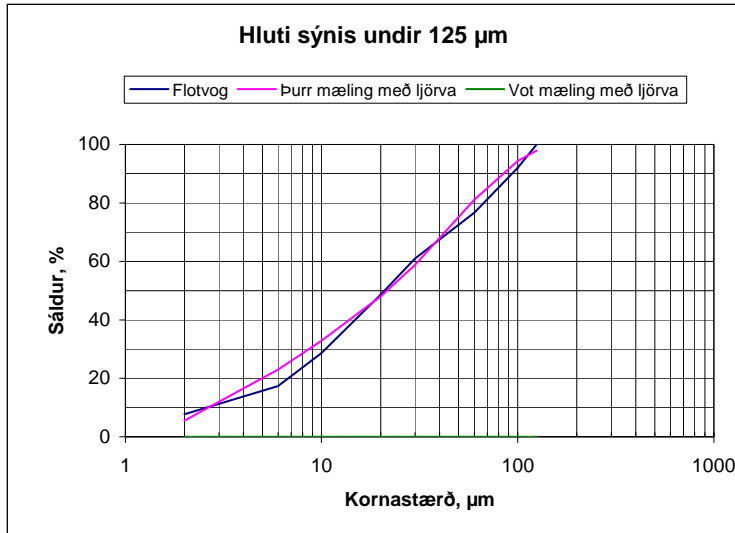
Sýni nr: **27** Náma: **S27 Ísafjarðará**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	92,1	72,7	45,3	36,8	21,2	13,4	6,1
Þurr mæling með ljörva	97,7	93,7	79,2	58,2	46,7	29,4	18,8	3,7
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	13,2	12,1	9,6	6,0	4,8	2,8	1,8	0,8
Þurr mæling með ljörva	12,9	12,3	10,4	7,7	6,1	3,9	2,5	0,5
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



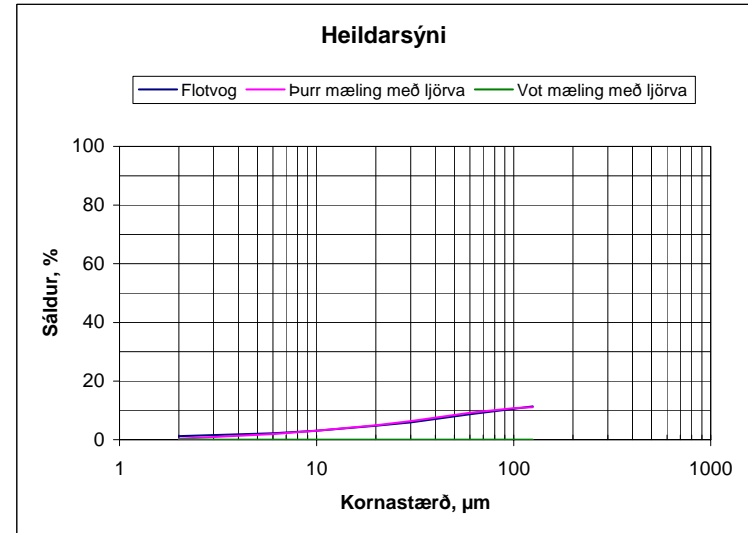
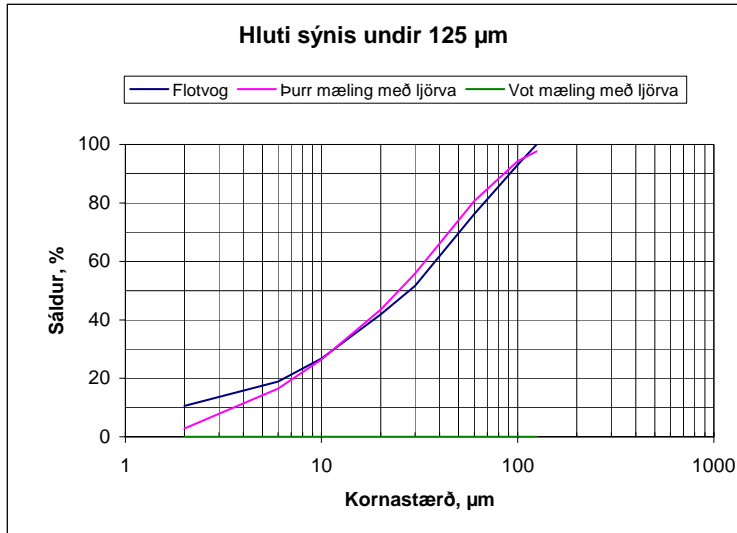
Sýni nr: **28** Náma: **S28 Hvítanes**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	92,0	76,7	61,0	48,6	28,6	17,3	7,7
Burr mæling með ljörva	98,0	94,3	81,1	58,8	48,0	32,8	23,0	5,5
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	15,9	14,7	12,2	9,7	7,8	4,6	2,8	1,2
Burr mæling með ljörva	15,6	15,0	12,9	9,4	7,7	5,2	3,7	0,9
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



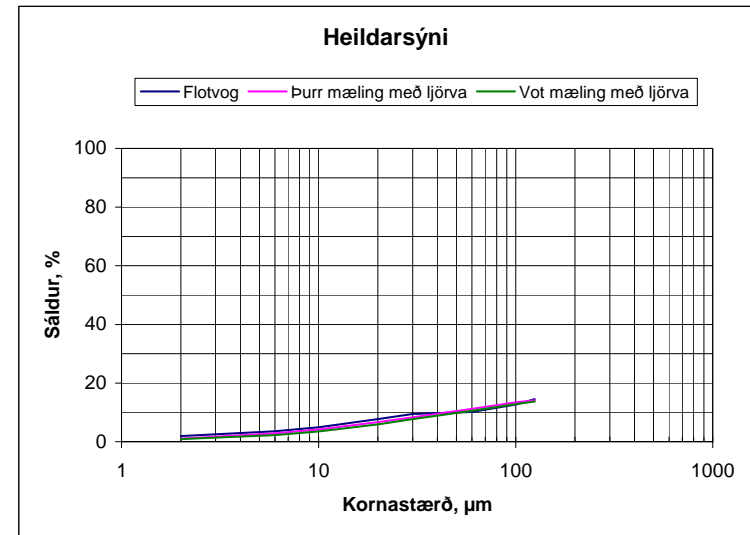
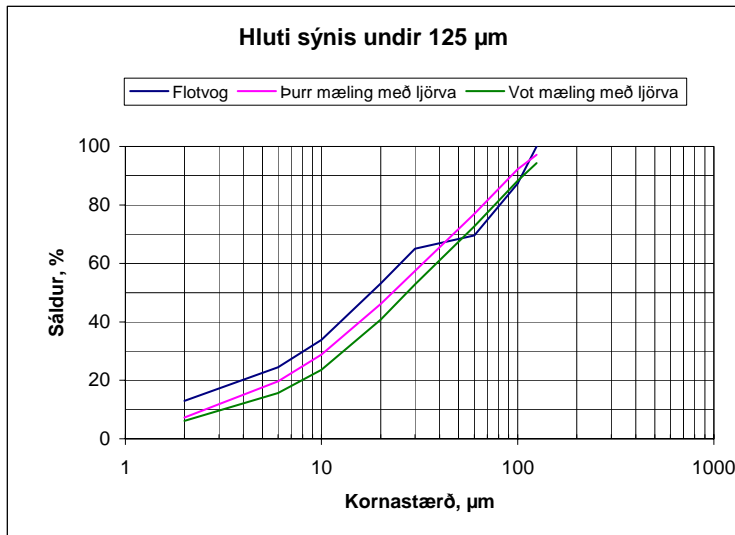
Sýni nr: **29** Náma: **S29 Hestfjarðarkot**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	93,1	76,3	51,6	41,9	26,8	18,9	10,5
Þurr mæling með ljörva	97,7	94,2	80,6	55,9	43,6	26,4	16,5	2,8
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	11,4	10,6	8,7	5,9	4,8	3,0	2,1	1,2
Þurr mæling með ljörva	11,1	10,7	9,2	6,4	5,0	3,0	1,9	0,3
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



Sýni nr: **30** Náma: **S30 Seljadalur**

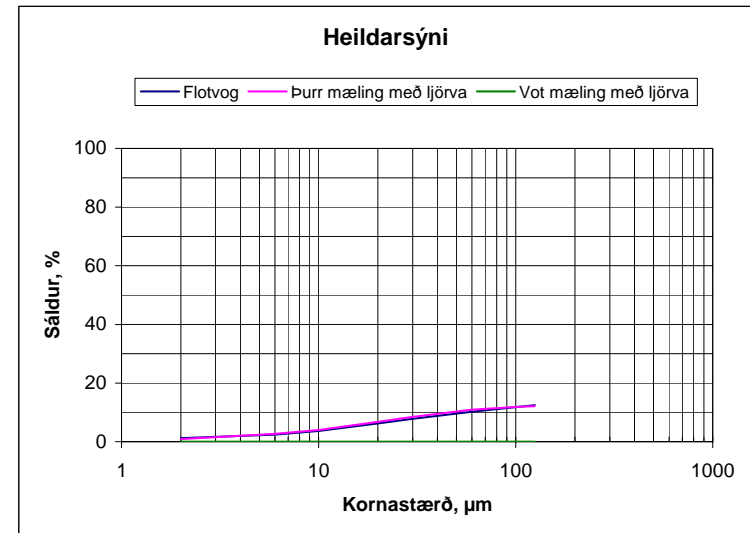
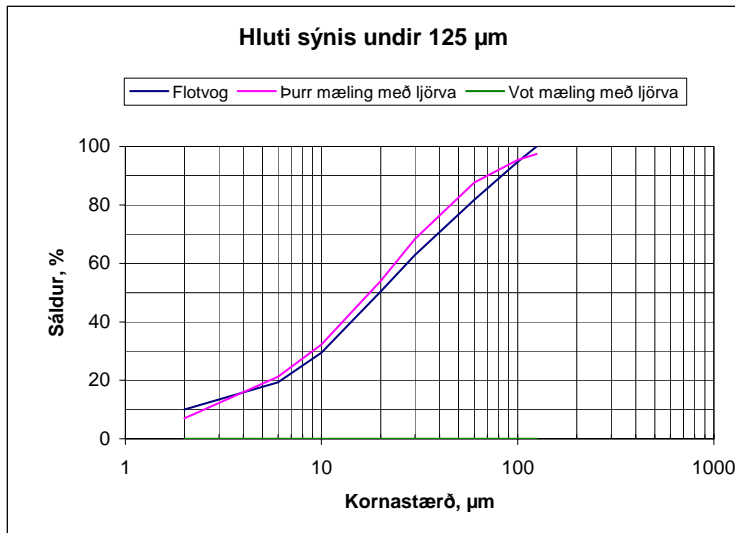
Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	87,3	69,6	65,0	53,1	33,8	24,4	13,0
Þurr mæling með ljörva	97,1	92,2	77,0	57,4	46,1	28,8	19,7	7,3
Vot mæling með ljörva	94,3	88,3	72,7	52,8	40,7	23,6	15,7	6,1
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	14,5	12,7	10,1	9,4	7,7	4,9	3,5	1,9
Þurr mæling með ljörva	14,1	13,4	11,2	8,3	6,7	4,2	2,9	1,1
Vot mæling með ljörva	13,7	12,8	10,5	7,7	5,9	3,4	2,3	0,9





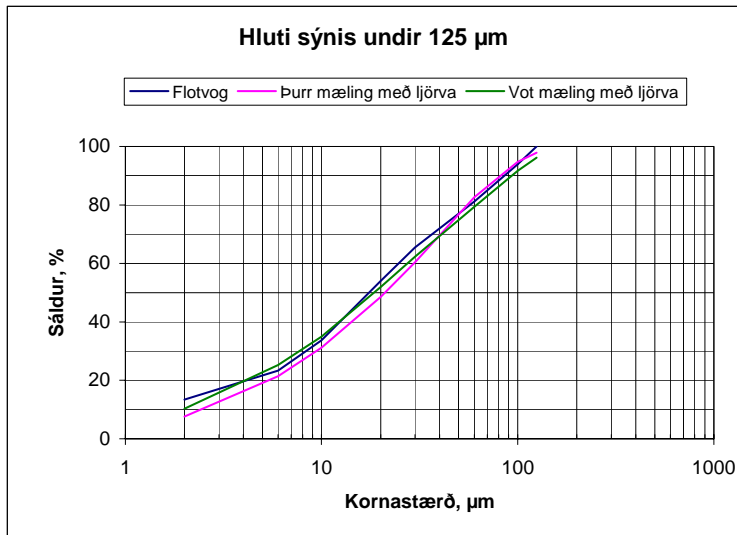
Sýni nr: **31** Náma: **S31 Hamar**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	94,7	81,8	62,9	50,4	29,5	19,3	10,1
Burr mæling með ljörva	97,4	95,4	87,7	68,3	54,1	32,3	21,2	7,0
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	12,4	11,8	10,2	7,8	6,3	3,7	2,4	1,3
Burr mæling með ljörva	12,1	11,9	10,9	8,5	6,7	4,0	2,6	0,9
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



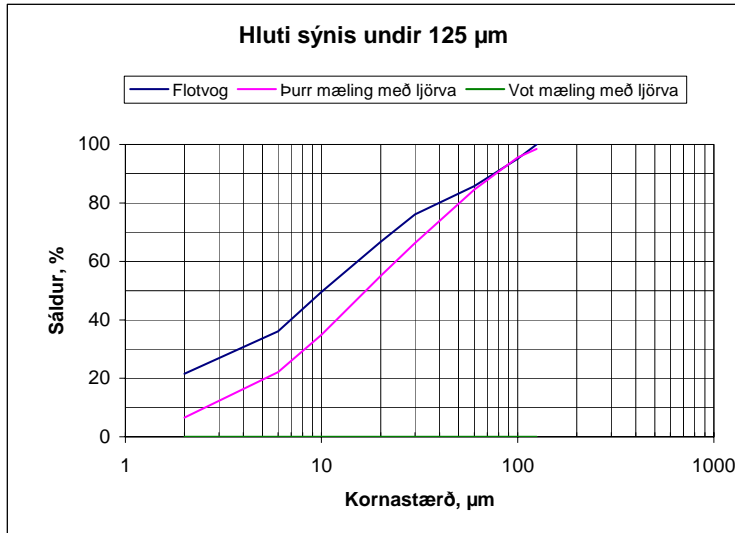
Sýni nr: **32** Náma: **S32 Kerhóll**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	94,0	81,1	65,5	54,0	33,6	23,3	13,4
Þurr mæling með ljörva	97,8	94,7	82,6	60,4	48,6	31,1	21,5	7,6
Vot mæling með ljörva	96,2	91,7	79,3	62,3	51,9	35,0	25,2	10,3
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	21,0	19,7	17,0	13,7	11,3	7,1	4,9	2,8
Þurr mæling með ljörva	20,5	19,9	17,3	12,7	10,2	6,5	4,5	1,6
Vot mæling með ljörva	20,2	19,2	16,6	13,1	10,9	7,3	5,3	2,2



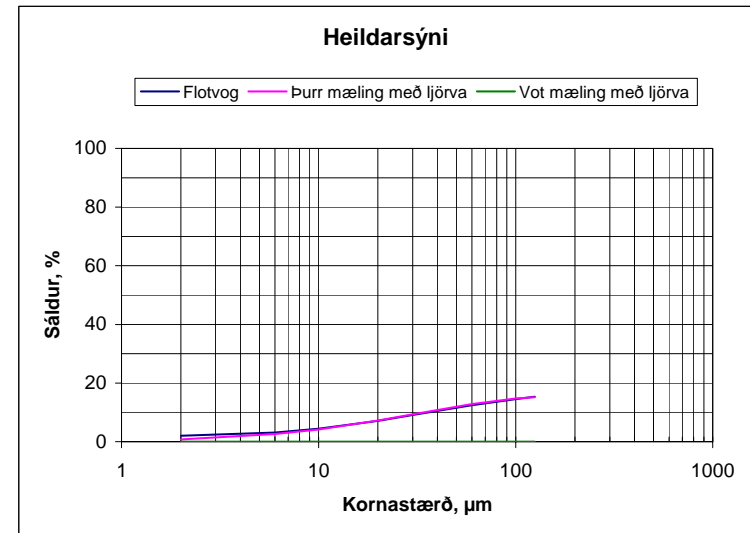
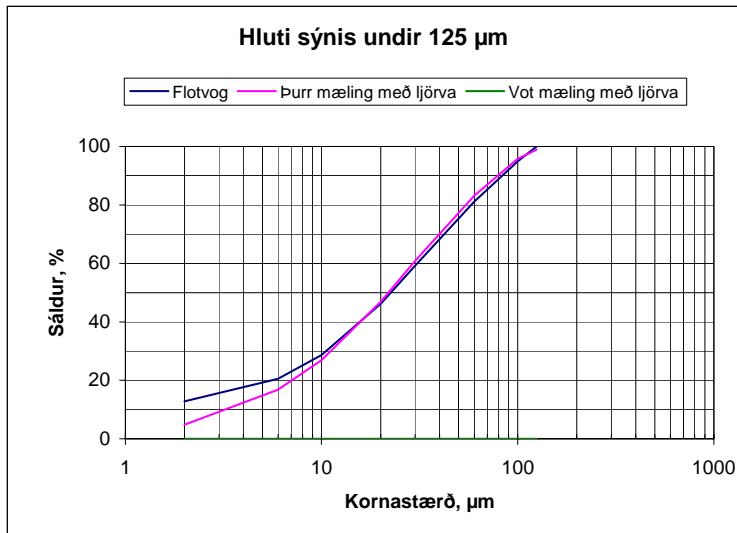
Sýni nr: **33** Náma: **S33 Hnausanáma**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	95,2	85,8	76,0	66,7	49,5	36,0	21,6
Burr mæling með ljörva	98,5	95,6	84,6	66,3	55,1	34,9	22,2	6,6
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	16,3	15,6	14,0	12,4	10,9	8,1	5,9	3,5
Burr mæling með ljörva	16,1	15,6	13,8	10,8	9,0	5,7	3,6	1,1
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



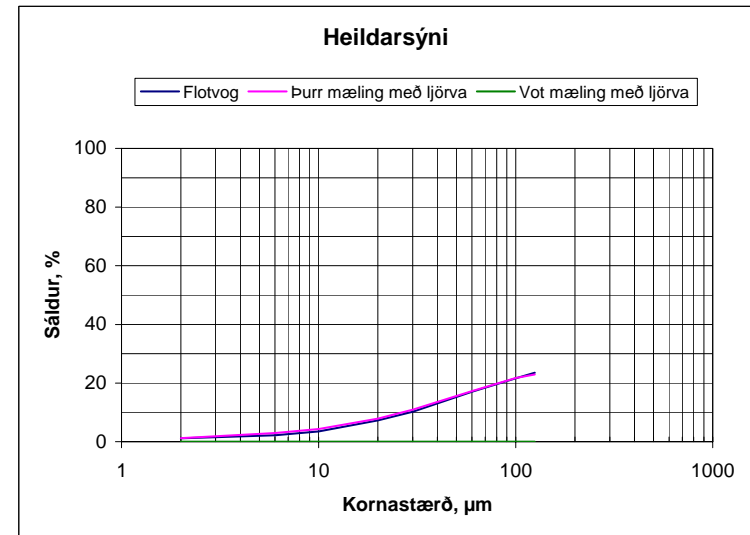
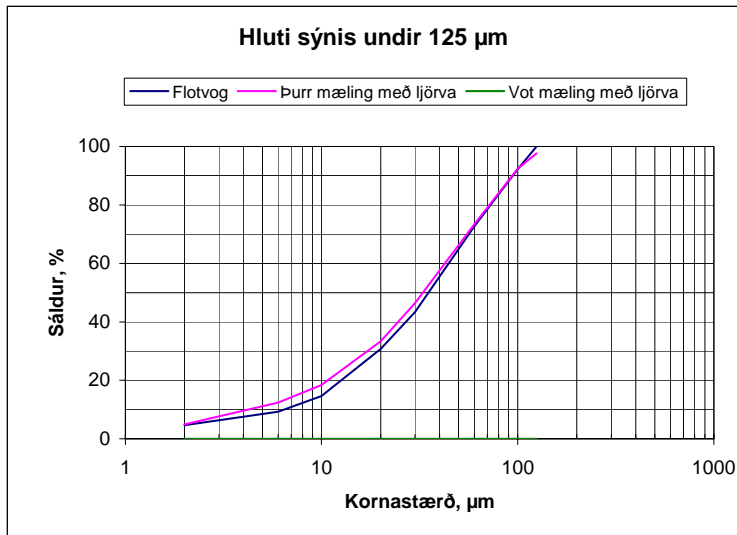
Sýni nr: **34** Náma: **S34 Hraunsnáma**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	94,9	81,2	59,1	46,2	28,6	20,5	12,8
Burr mæling með ljörva	98,8	95,7	83,2	60,8	46,9	26,9	16,8	4,9
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	15,3	14,6	12,5	9,1	7,1	4,4	3,1	2,0
Burr mæling með ljörva	15,2	14,7	12,8	9,3	7,2	4,1	2,6	0,8
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



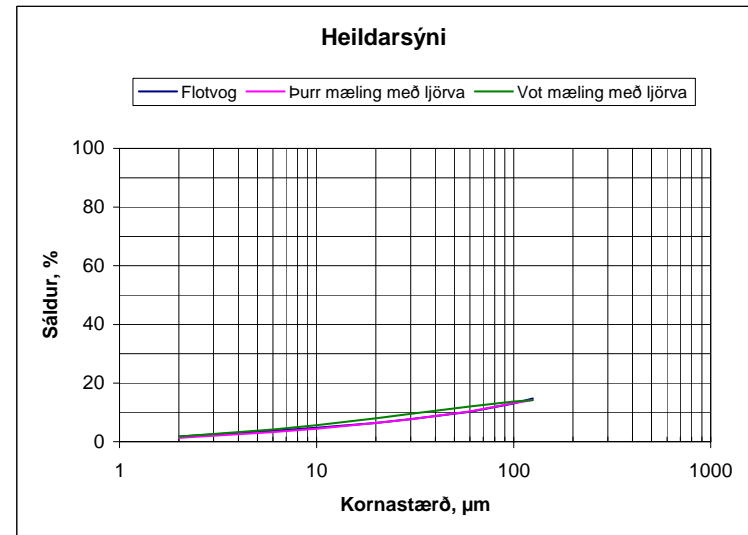
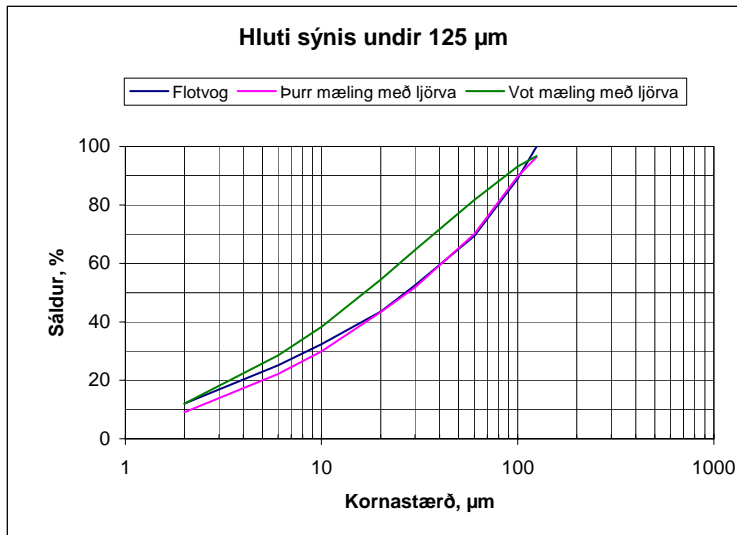
Sýni nr: **35** Náma: **S35 Hrísgærði**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	92,2	72,7	43,4	30,8	14,6	9,3	4,7
Þurr mæling með ljörva	97,7	92,4	73,4	46,4	33,4	18,4	12,4	5,0
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	23,5	21,7	17,1	10,2	7,2	3,4	2,2	1,1
Þurr mæling með ljörva	23,0	21,7	17,2	10,9	7,9	4,3	2,9	1,2
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



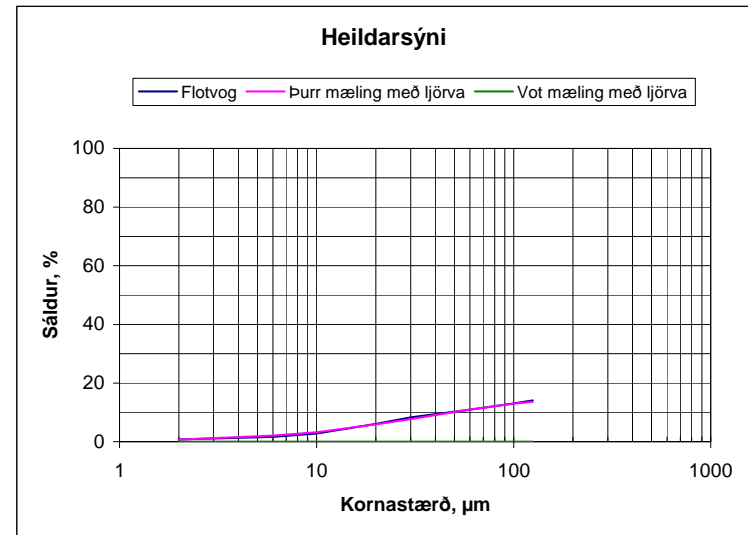
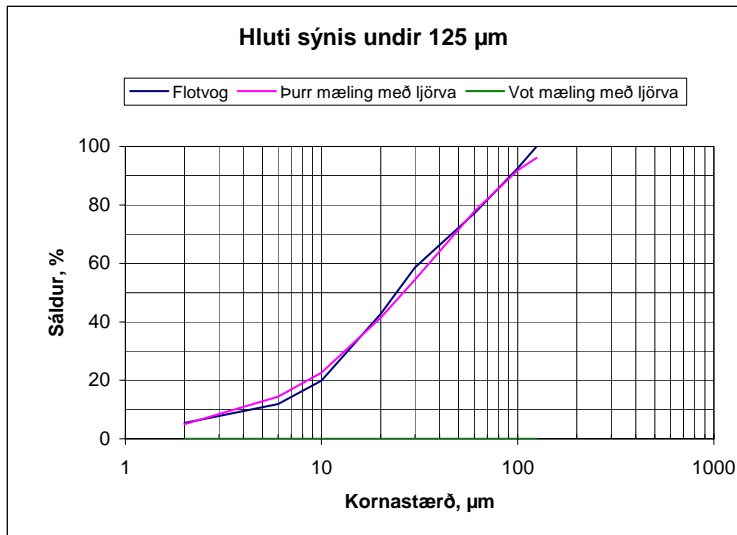
Sýni nr: **36** Náma: **S36 Námaskarð**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	89,0	69,4	52,5	43,5	32,4	25,2	12,0
Þurr mæling með ljörva	96,4	89,8	70,0	51,8	43,4	29,9	22,2	9,1
Vot mæling með ljörva	96,7	93,1	81,7	64,6	54,5	38,2	28,6	12,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	14,7	13,1	10,2	7,7	6,4	4,8	3,7	1,8
Þurr mæling með ljörva	14,2	13,2	10,3	7,6	6,4	4,4	3,3	1,3
Vot mæling með ljörva	14,2	13,7	12,0	9,5	8,0	5,6	4,2	1,8



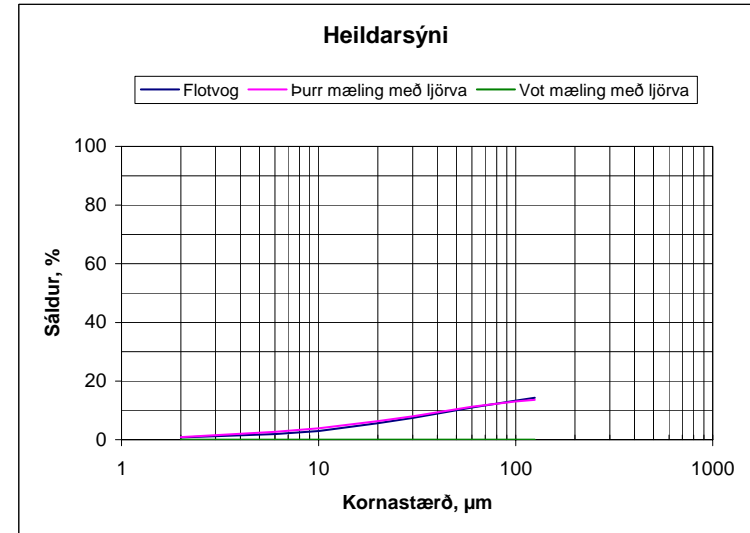
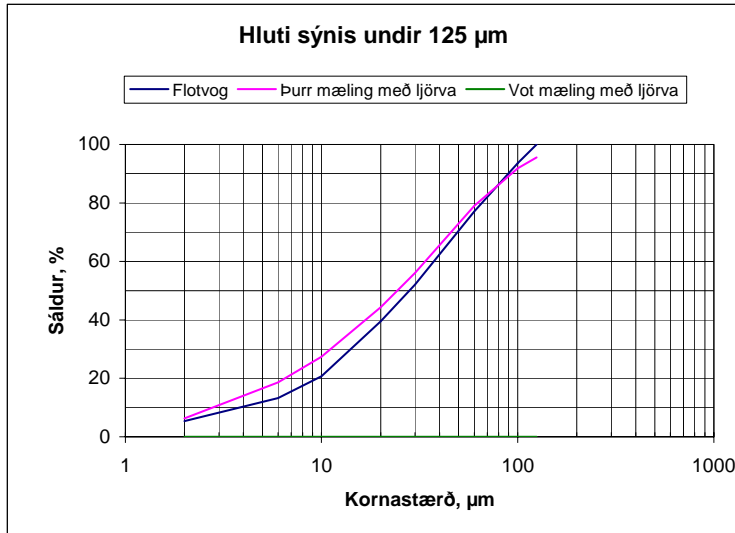
Sýni nr: **37** Náma: **S37 Gilsbakki**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	92,6	77,1	58,6	42,7	19,8	11,9	5,4
Þurr mæling með ljörva	96,1	91,8	77,8	54,4	41,4	22,6	14,4	5,1
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	14,1	13,1	10,9	8,3	6,0	2,8	1,7	0,8
Þurr mæling með ljörva	13,6	13,0	11,0	7,7	5,9	3,2	2,0	0,7
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



Sýni nr: **38** Náma: **S38 Rípill**

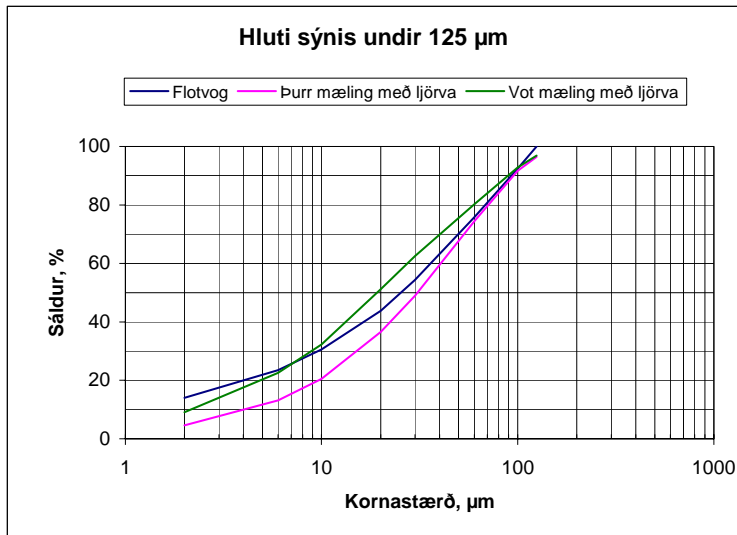
Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	93,5	77,1	52,0	39,5	20,8	13,2	5,3
Þurr mæling með ljörva	95,6	91,8	79,0	56,0	44,3	27,4	18,6	6,3
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	14,2	13,3	11,0	7,4	5,6	3,0	1,9	0,8
Þurr mæling með ljörva	13,6	13,1	11,2	8,0	6,3	3,9	2,7	0,9
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0





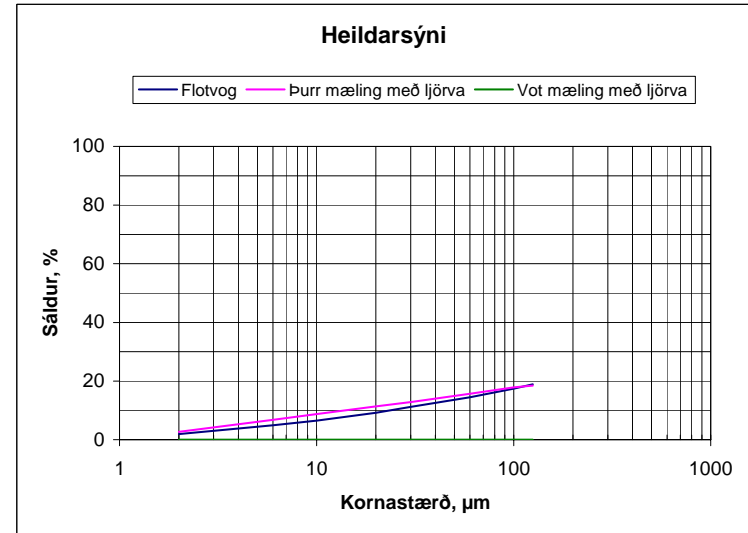
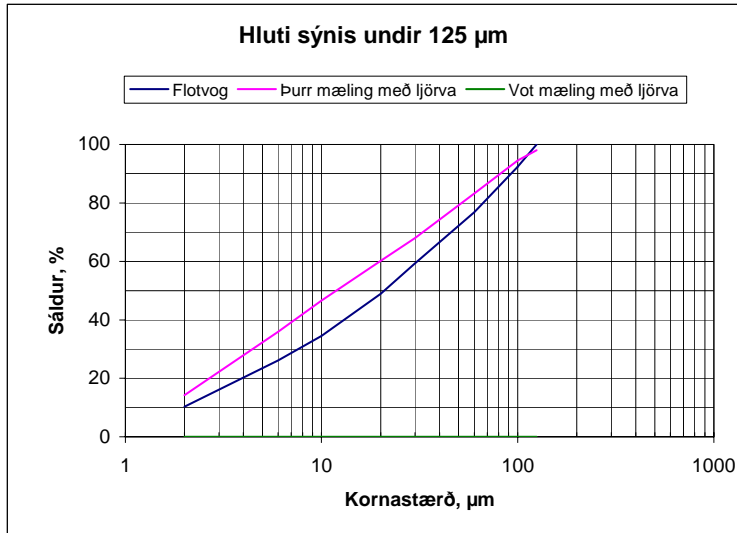
Sýni nr: **39** Náma: **S39 Víkurhólar**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	92,4	75,8	54,4	43,8	30,5	23,5	14,1
Þurr mæling með ljörva	96,5	91,7	74,4	48,9	36,6	20,5	13,2	4,6
Vot mæling með ljörva	96,9	92,8	80,2	62,5	51,2	32,3	22,5	9,1
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	17,9	16,5	13,6	9,7	7,8	5,5	4,2	2,5
Þurr mæling með ljörva	17,3	16,4	13,3	8,7	6,5	3,7	2,4	0,8
Vot mæling með ljörva	17,3	16,6	14,4	11,2	9,2	5,8	4,0	1,6



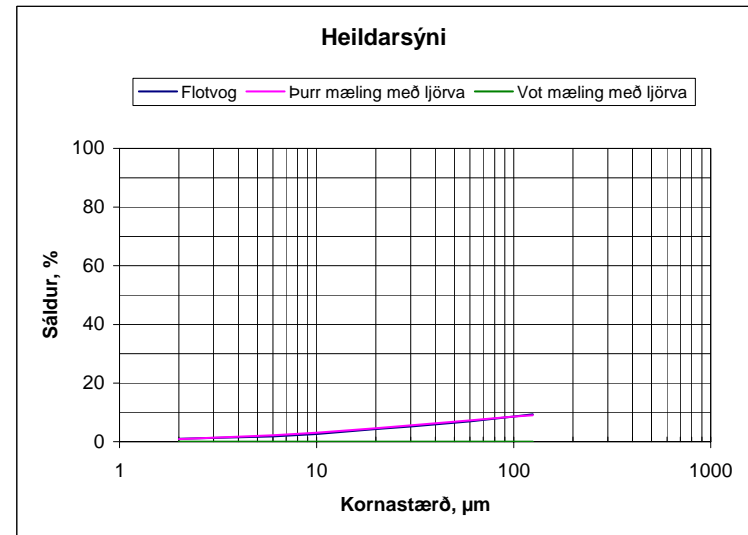
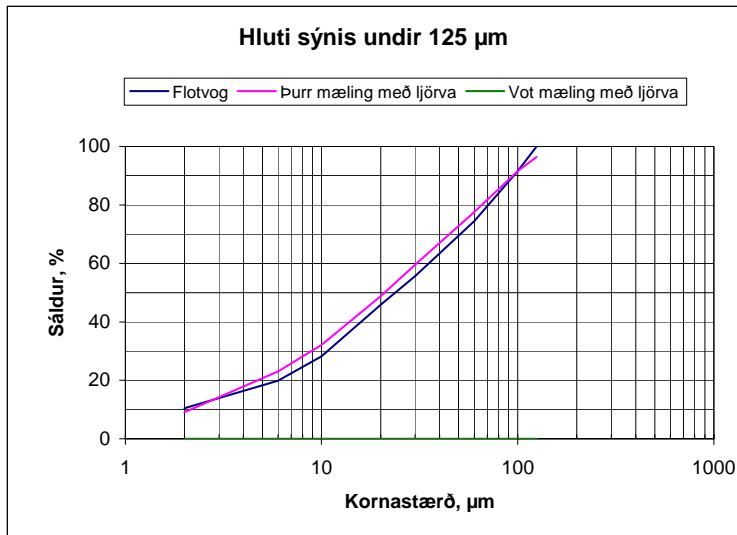
Sýni nr: **40** Náma: **S40 Hestháls**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	92,3	76,8	59,3	48,9	34,5	26,1	10,3
Þurr mæling með ljörva	98,0	94,6	83,2	68,0	60,2	46,6	35,9	14,3
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	18,8	17,4	14,5	11,2	9,2	6,5	4,9	1,9
Þurr mæling með ljörva	18,4	17,8	15,7	12,8	11,3	8,8	6,8	2,7
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



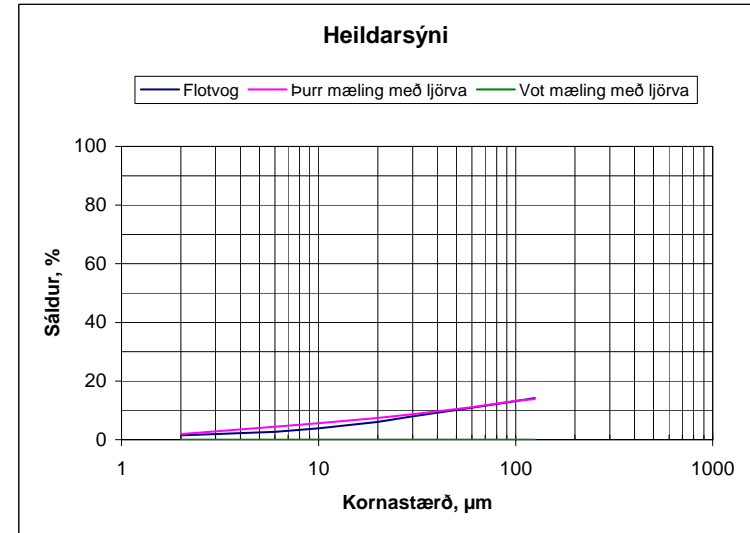
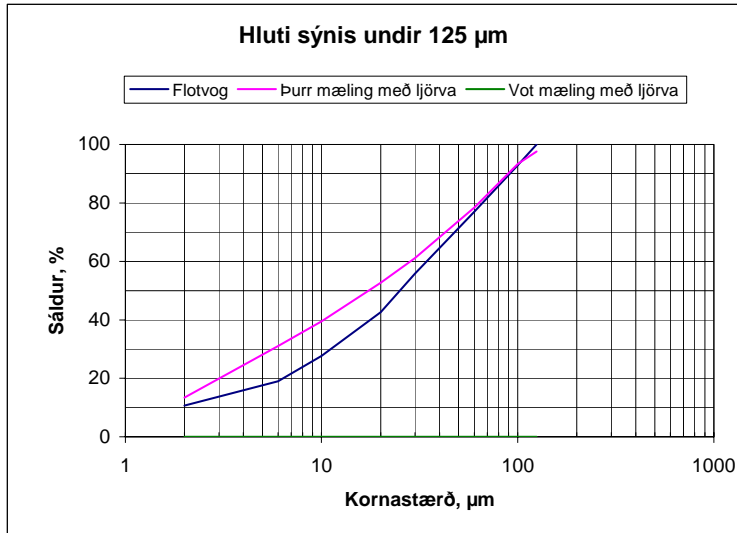
Sýni nr: **41** Náma: **S41 Hamarsá**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	91,5	74,5	55,6	45,9	28,2	19,9	10,5
Þurr mæling með ljörva	96,4	91,6	77,7	59,5	48,8	32,1	23,1	9,1
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	9,3	8,6	7,0	5,2	4,3	2,6	1,9	1,0
Þurr mæling með ljörva	9,0	8,6	7,3	5,6	4,6	3,0	2,2	0,8
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



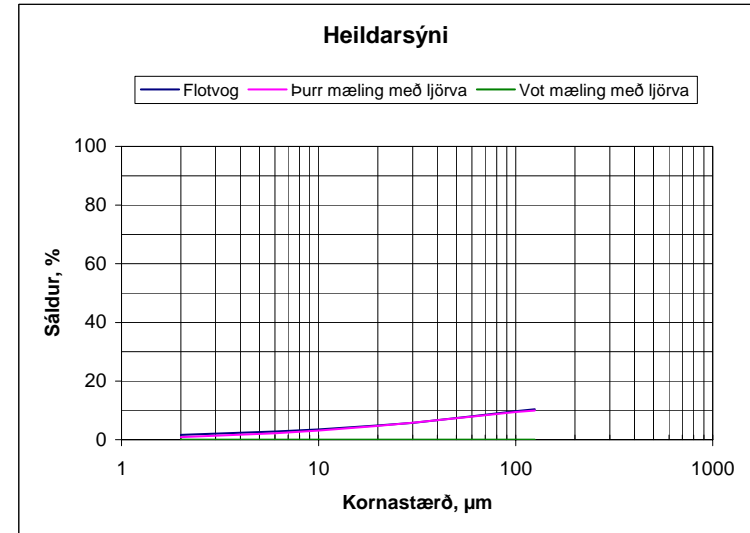
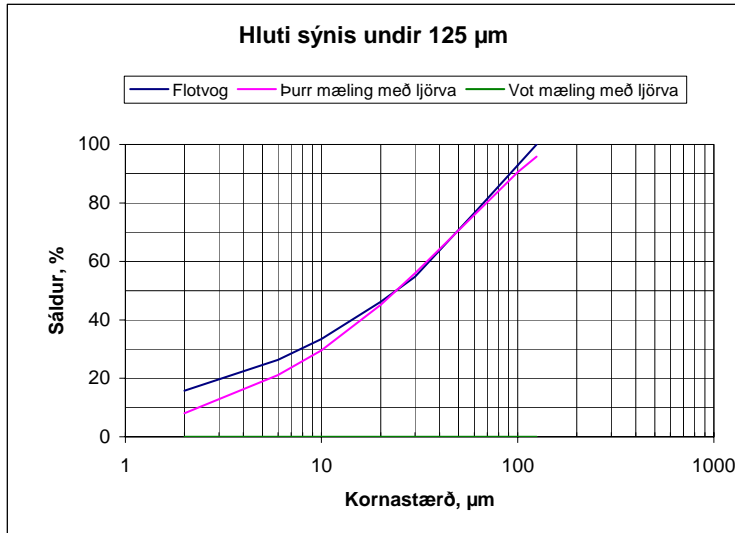
Sýni nr: **42** Náma: **S42 Hornsvegur**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	92,9	77,0	55,9	42,7	27,7	19,0	10,7
Þurr mæling með ljörva	97,5	93,3	78,4	61,1	52,7	39,5	31,0	13,4
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	14,2	13,2	10,9	7,9	6,1	3,9	2,7	1,5
Þurr mæling með ljörva	13,8	13,2	11,1	8,7	7,5	5,6	4,4	1,9
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



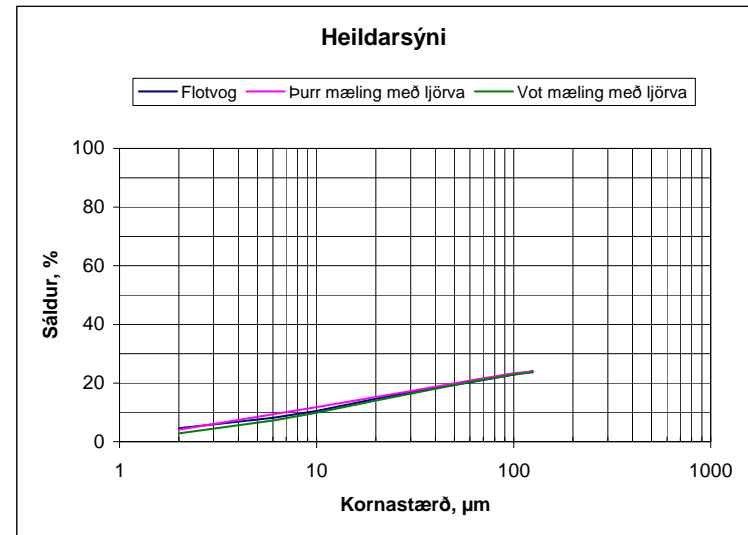
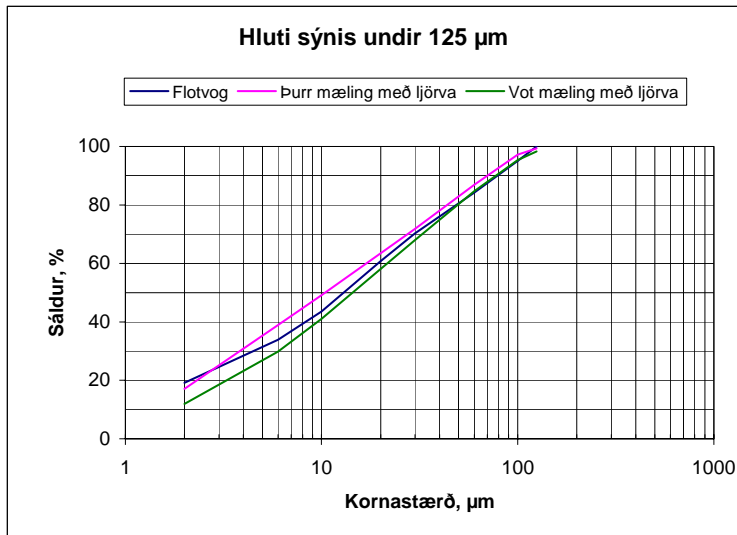
Sýni nr: **43** Náma: **S43 Brunnar**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	92,9	76,6	54,7	46,2	33,5	26,4	15,8
Burr mæling með ljörva	95,8	90,6	75,9	55,9	45,2	29,6	21,1	8,1
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	10,4	9,7	8,0	5,7	4,8	3,5	2,7	1,6
Burr mæling með ljörva	10,0	9,4	7,9	5,8	4,7	3,1	2,2	0,8
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



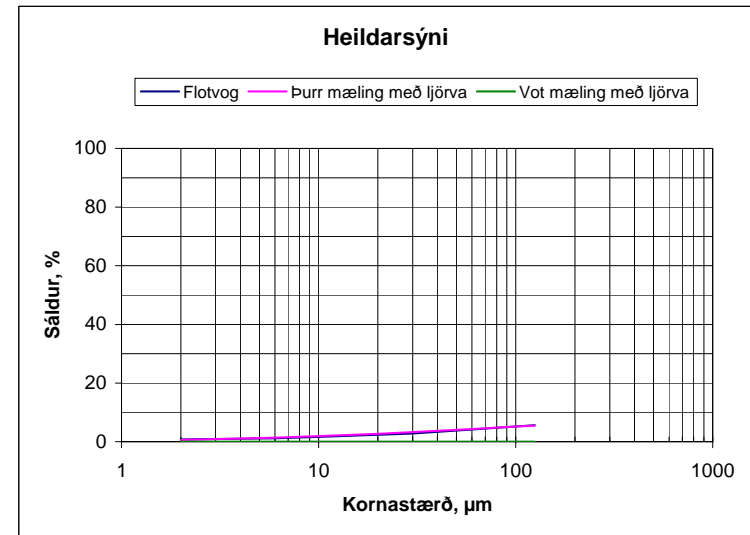
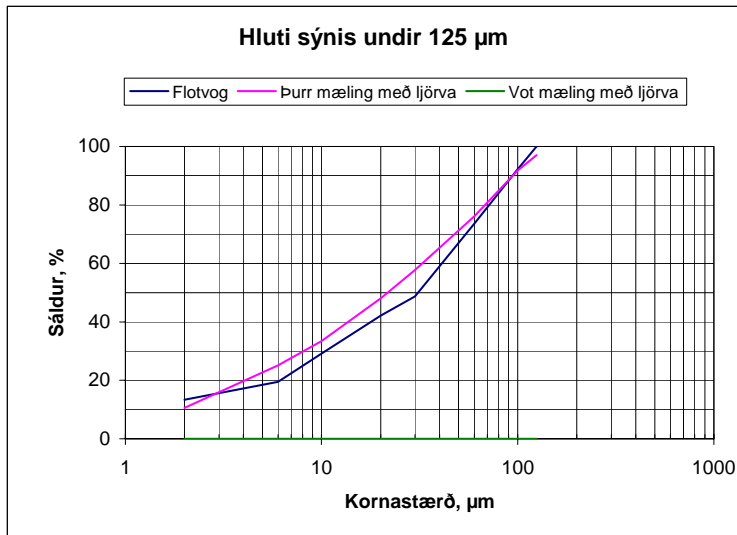
Sýni nr: **44** Náma: **S44 Hrútagil**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	95,1	84,2	70,2	60,8	43,5	33,9	19,2
Þurr mæling með ljörva	99,3	97,2	86,9	71,8	63,5	49,1	38,9	17,0
Vot mæling með ljörva	98,3	95,3	84,8	68,0	58,1	41,0	29,8	11,9
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	24,0	22,8	20,2	16,9	14,6	10,5	8,1	4,6
Þurr mæling með ljörva	23,9	23,4	20,9	17,3	15,3	11,8	9,4	4,1
Vot mæling með ljörva	23,6	22,9	20,4	16,3	14,0	9,9	7,2	2,9



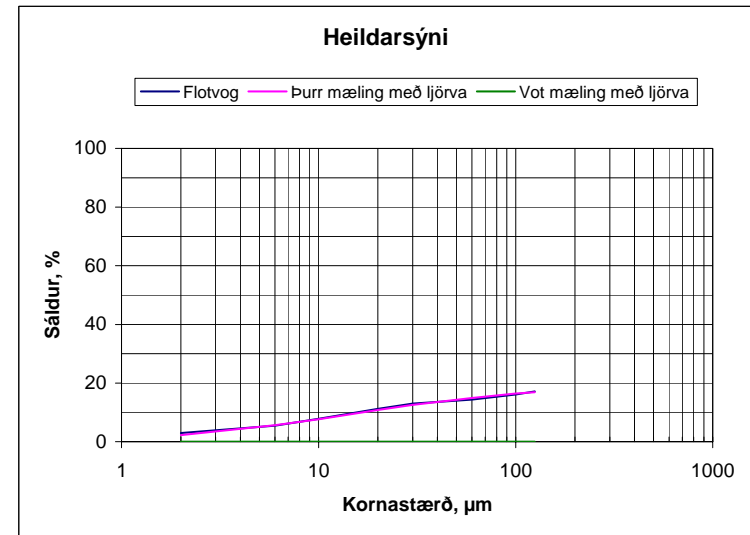
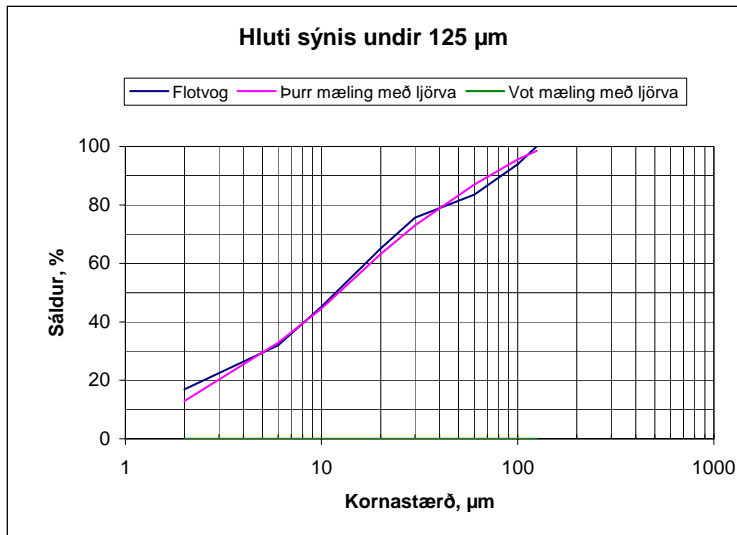
Sýni nr: **45** Náma: **S45 Eyrará**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	92,2	73,6	48,8	42,2	29,2	19,6	13,4
Þurr mæling með ljörva	97,1	91,8	76,1	57,7	48,0	33,4	25,2	10,6
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	5,6	5,2	4,1	2,7	2,4	1,6	1,1	0,8
Þurr mæling með ljörva	5,5	5,2	4,3	3,3	2,7	1,9	1,4	0,6
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



Sýni nr: **46** Náma: **S46 Hvanná**

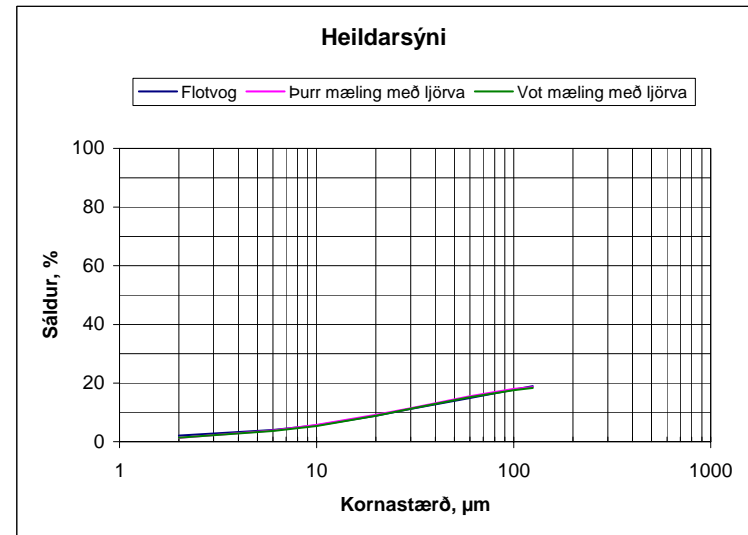
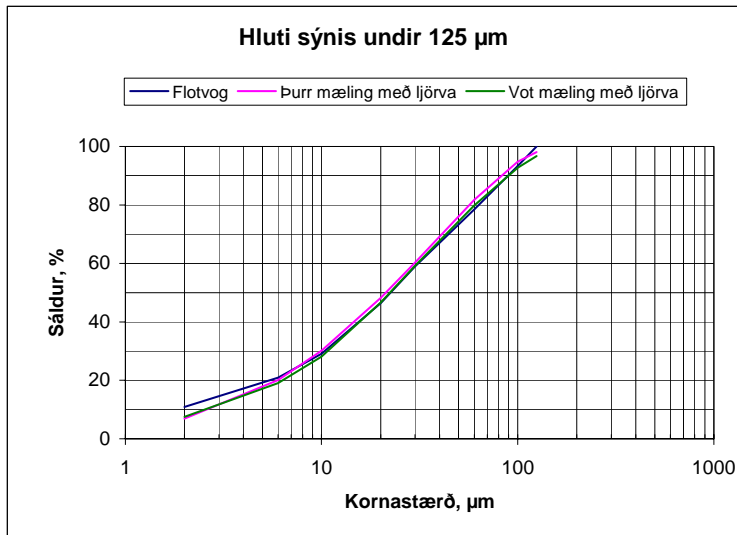
Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	93,9	83,5	75,7	65,1	45,2	32,0	16,9
Þurr mæling með ljörva	98,4	95,6	87,0	73,1	63,2	44,6	32,8	12,9
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	17,2	16,1	14,3	13,0	11,2	7,8	5,5	2,9
Þurr mæling með ljörva	16,9	16,4	14,9	12,5	10,8	7,7	5,6	2,2
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0





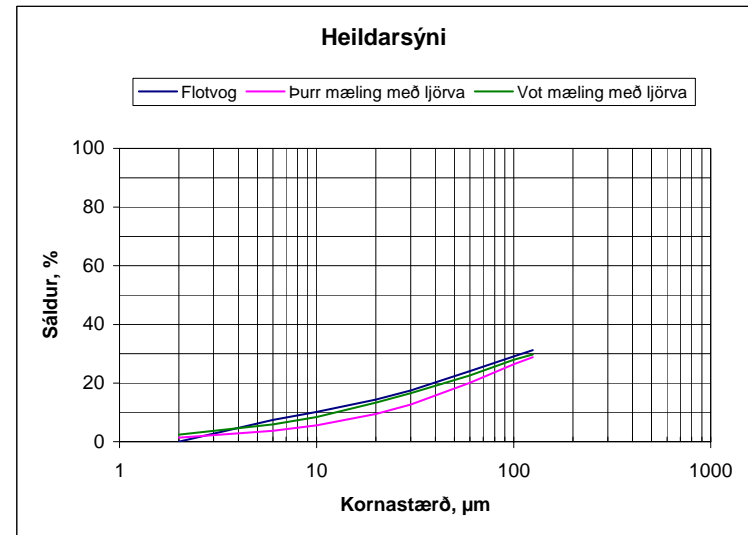
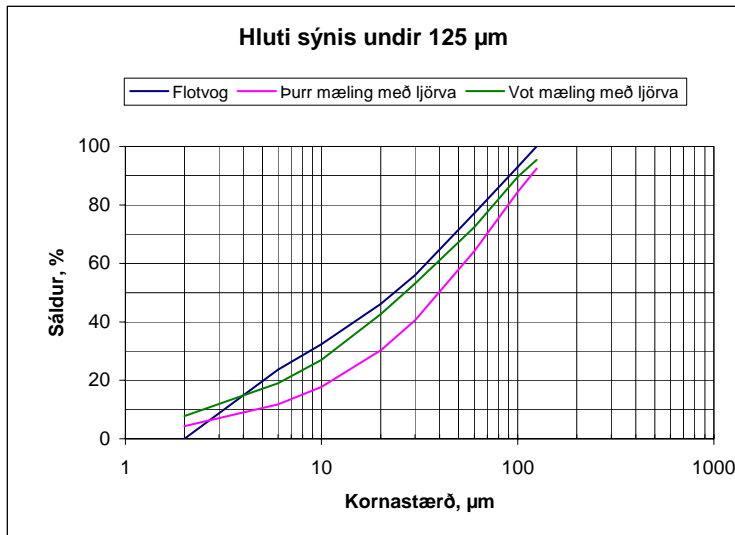
Sýni nr: **47** Náma: **S47 Færivallaskriður**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	93,3	78,5	59,0	46,4	29,1	20,9	10,9
Þurr mæling með ljörva	98,1	94,8	81,8	60,3	48,2	30,1	20,1	6,9
Vot mæling með ljörva	96,7	92,7	79,9	59,1	46,6	28,1	19,1	7,5
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	19,0	17,7	14,9	11,2	8,8	5,5	4,0	2,1
Þurr mæling með ljörva	18,6	18,0	15,5	11,4	9,1	5,7	3,8	1,3
Vot mæling með ljörva	18,4	17,6	15,2	11,2	8,8	5,3	3,6	1,4



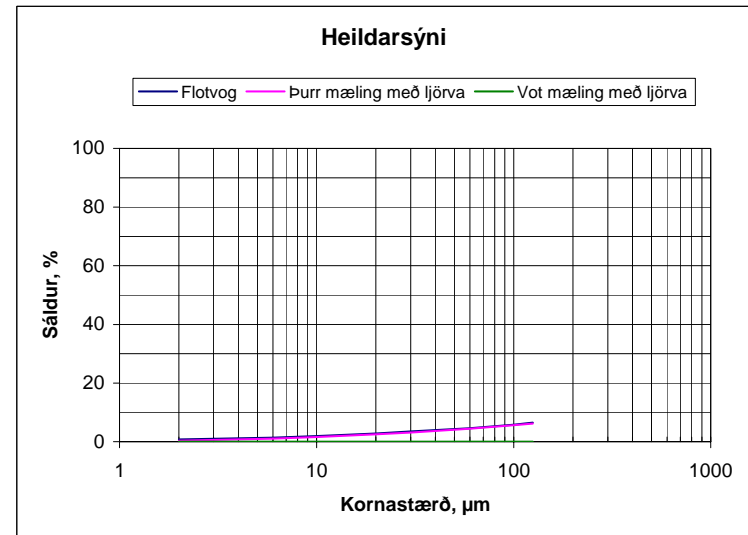
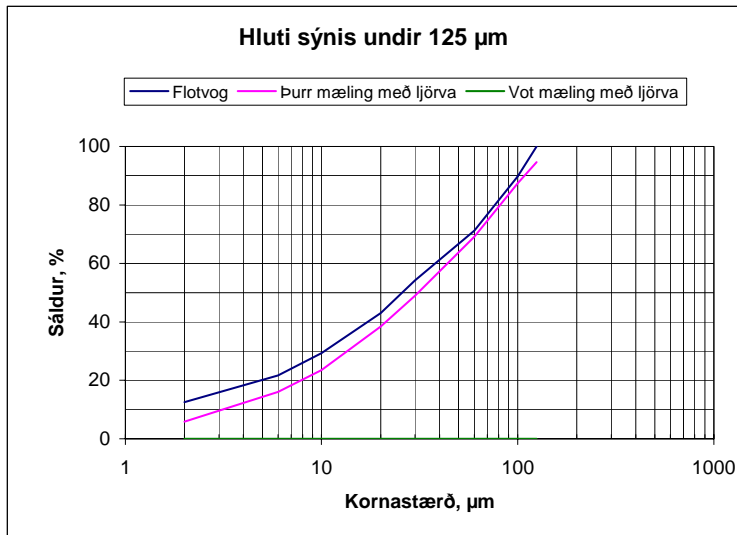
Sýni nr: **49** Náma: **S49 Arnstapi**

Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	93,0	77,2	56,0	46,1	32,4	23,7	0,0
Þurr mæling með ljörva	92,4	84,5	64,2	40,5	30,3	17,7	11,8	4,3
Vot mæling með ljörva	95,4	89,6	72,4	53,1	42,7	27,0	19,0	7,8
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	31,2	29,0	24,1	17,5	14,4	10,1	7,4	0,0
Þurr mæling með ljörva	28,8	26,4	20,0	12,7	9,5	5,5	3,7	1,4
Vot mæling með ljörva	29,8	28,0	22,6	16,6	13,3	8,4	5,9	2,4



Sýni nr: **50** Náma: **S59 Kjóafell**

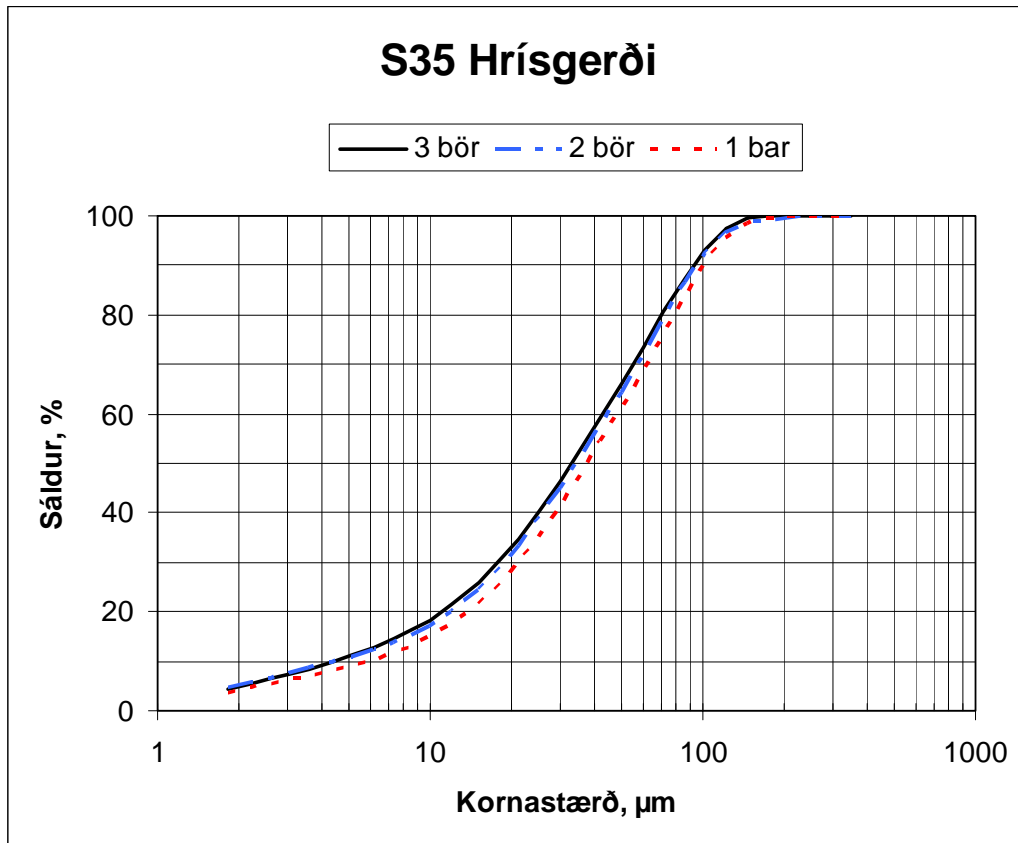
Flokkur µm	1 125	2 100	3 60	4 30	5 20	6 10	7 6	8 2
<b>Sáldur, % af hluta sýnis undir 125 µm:</b>								
Flotvog	100,0	89,8	71,2	54,2	43,0	29,3	21,7	12,5
Þurr mæling með ljörva	94,6	87,4	69,1	48,9	38,4	23,5	16,0	5,9
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sáldur, % af heildarsýni:</b>								
Flotvog	6,4	5,8	4,6	3,5	2,8	1,9	1,4	0,8
Þurr mæling með ljörva	6,1	5,6	4,5	3,2	2,5	1,5	1,0	0,4
Vot mæling með ljörva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



VIÐAUKI 4

DÆMI UM ÁHRIF TVÍSTRUNAR  
Á NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA





Myndin sýnir dæmi um breytingar á sáldurferli þegar tvístrunarþrýstingur er aukinn úr 1 bar í 3 bör. Sýnið er greint (þurrgreining) í SympaTec greiningarsamstæðu með HELOS greiningareiningu og RODOS tvístrunareiningu. Sýnið var forsikað á 125 μm sikti. Mesti mismunur á sáldri þegar þrýstingurinn er annarsvegar þrjú bör og hins vegar tvö bör er 1,8 einingar (prósentustig). Ef þrýstingurinn er annars vegar þrjú bör en hins vegar eitt bar er mesti mismunur 5,1 eining.