

Rb skýrsla nr. 03-04

## Endurteknar mælingar á Bg-stuðli.

*Pétur Pétursson*  
*og*  
*Gunnar Bjarnason*



# Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins

Keldnaholti, IS-112 Reykjavík, sími 570 7300, fax 570 7311

## SKÝRSLA

Skýrsla nr: 03-04
<b>Dreifing</b>
Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/>

Rb/SfB
YP (J)
620.17

UDK - 551

<b>Heiti skýrslu:</b> Endurteknar mælingar á Bg-stuðli	<b>Dags:</b> Janúar 2003 <b>Fjöldi síðna:</b> 10
<b>Höfundar:</b> Pétur Pétursson, Rb og Gunnar Bjarnason, Vegagerðinni	<b>Faglega ábyrgur:</b> PP
<b>Deild:</b> Vegtæknideild	<b>Rannsóknanúmer:</b> V-0115
<b>Unnið fyrir:</b> Rannsókn- og þróunarsvið Vegagerðarinnar og Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins	
<b>Úrdráttur:</b> <p>Markmið verkefnisins var að kanna nánar nákvæmni styrkleikaprófana með "modified" Bg aðferð á tilbúinni "Füller" kornakúrfu. Steinefnabanki Efnisgæðanefndar var prófaður á sínum tíma með aðferðinni og þóttu niðurstöður þeirra prófana benda til að aðferðin gæti hentað vel sem styrkleikapróf fyrir burðarlagsefni. Verkefnið fólst í því að endurtaka BG-modified prófanir á "Füller" kornakúrfu á öllum steinefnabankanum á sama hátt og gert var áður.</p> <p>Tölfræðileg úttekt á endurteknum mælingum á Bg-stuðli gaf eftirfarandi mat: "Með Bg á bilinu ~ 4-14 eru góðar líkur á að staðalfrávik einstakra prófana sé ~ 0,65 að jafnaði og að 95 % skekkjumörk á einstakri mælingu á Bg sé ± 1,3. Sennilega er <b>r</b> (repeatability) &lt; 0,65 og <b>R</b> (reproducability) &gt; 0,65. Gögnin eru hins vegar of lítil (of fáar endurtekningar á sama efni) til að hægt sé að segja mikið meira".</p> <p>Höfundar þessarar skýrslu telja að Bg-aðferðin sem hér er lýst henti vel til mælinga á styrk burðar- og styrktarlagsefna þar sem það á við. Kostir aðferðarinnar eru meðal annars þeir að a) kornakúrfu er í góðu samræmi við það efni sem notað er úti í vegi og b) vísbendingar hafa fengist um að endurtekningarstuðlar séu vel viðunandi.</p>	

### 3 lykilorð: Á íslensku

### Á ensku

Bg-stuðull	Bg-index
Steinefni	Aggregates
Styrkleikapróf	Strength test

## 1. Inngangur

Markmið verkefnisins var að kanna nánar nákvæmni styrkleikaprófana með "modified" Bg aðferð á tilbúinni "Füller" kornakúrfu. Steinefnabanki Efnisgæðanefndar var prófaður á sínum tíma með aðferðinni og þóttu niðurstöður þeirra prófana benda til að aðferðin gæti hentað vel sem styrkleikapróf fyrir burðarlagefni. Verkefnið fólst í því að endurtaka BG-modified prófanir á "Füller" kornakúrfu á öllum steinefnabankanum á sama hátt og gert var áður. Einn af kostum aðferðarinnar er að styrkur er mældur á efni sem hefur ekki ósvipaða kornastærðardreifingu og það efni sem notað er í burðarlög vega. Efnisgæðanefnd hefur nú þegar sett fram tillögur um að "modified" Bg-stuðull verði notaður sem styrkleikapróf til jafns við Los Angeles prófið fyrir burðarlög. Til rökstuðnings þeirri ákvörðun nefndarinnar er mikilvægt að hafa haldbærar niðurstöður nákvæmnisathugunar sem þessarar.

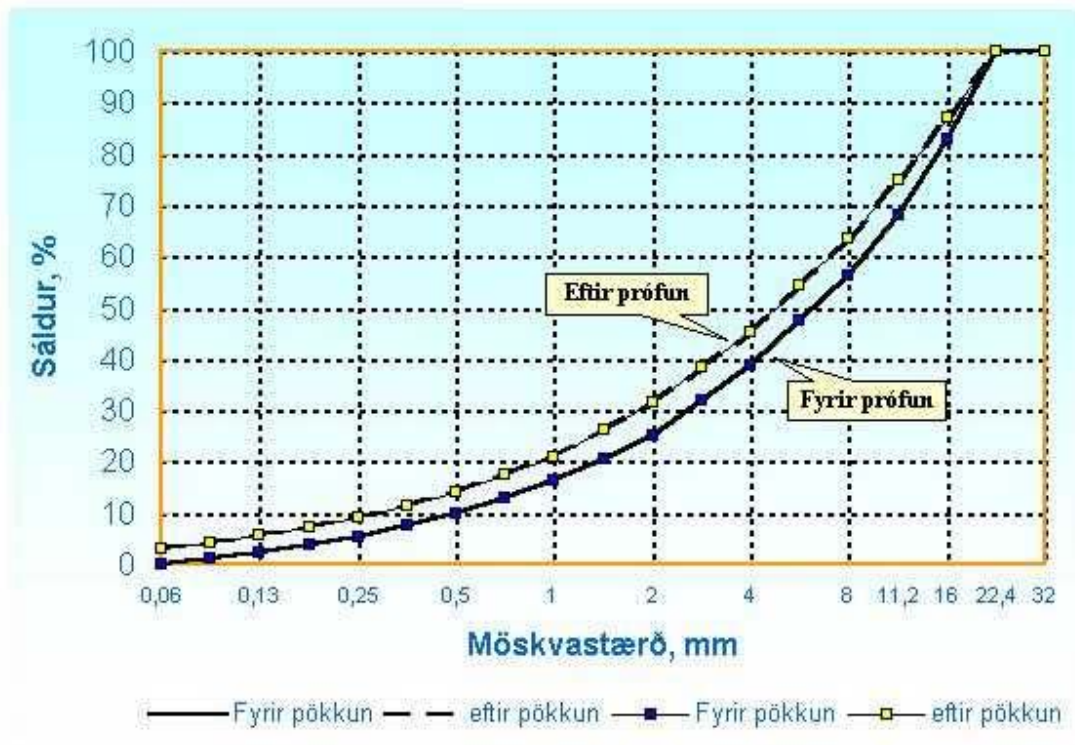
## 2. Prófunaraðferð

Bg-stuðull er prófunaraðferð sem mælir styrk steinefna í tengslum við prófanir á þjöppun burðarlagefna. Proctor þjöppun er beitt við aðferðina, en henni er ætlað að gefa upplýsingar um hagstæðasta rakastig við þjöppun burðarlagefna, sjá mynd 1.



**MYND 1** Ljósmynd af proctor hamri sem beitt er við ákvörðun Bg-stuðuls

Þegar sýni er prófað með proctor hamri á sér stað ákeðið niðurbrot á efninu, mismikið eftir styrk þess, en einnig hefur kornastærðardreifing efnisins áhrif á niðurbrot þess. Hugmyndin með Bg-stuðlinum er að sigta sýnið eftir proctor-próf og fá þannig mælingu á niðurbrotið sem á sér stað með samanburði á kornakúrfum fyrir og eftir próf. Mynd 2 sýnir hvernig Bg-talan er fengin með því að bera saman kornakúrfur fyrir og eftir Bg-prófun.



## MYND 2 Niðurstöður úr Bg-prófi

Tölugildið sem fæst úr Bg-prófi byggist á samanlögðum hluta sýnis sem brotnar niður á hverju sigti fyrir sig við áraunina. Eftir því sem steinefnasýni er veikara, verður munur á kornakúrfunni fyrir og eftir próf meiri og Bg-tölugildið hærra. Sýnt hefur verið fram á sterka fylgni milli niðurstaðna úr LA-prófi og Bg-prófi. Það er þó talinn vera góður kostur að geta valið á milli aðferðanna eftir kornastærð þess efnis sem nota á í veguppbyggingu. Þannig getur til dæmis verið æskilegra að nota LA-prófið til að meta styrk steinefna sem ætluð eru í flokkaða klæðingu, en Bg-prófið þegar um er að ræða mat á steinefni í burðarlög vega.

Lengst af var Bg-prófið gert á því sýni sem sett var í proctor-prófun, þ.e.a.s. á þeirri kornastærð sem til stóð að nota, þó án grófara efnis en 19 mm. Niðurstöður þessara Bg-prófana endurspegluðu því bæði styrk og kornastærðardreifingu sýna. Bg-prófið er hægt að gera á tvennan hátt, annars vegar með “standard” proctor prófi og hins vegar með “modified” prófi, þar sem álag á sýnið er meira en þegar notuð er hefðbundin aðferð. Í nágildandi Alverki er gert ráð fyrir að notuð sé “standard” útfærslan, en tillaga hefur verið sett fram, m.a. af Efnisgæðanefnd BUSL-samstarfsins, um að “modified” aðferðin verði notuð í staðinn. Ástæðan er sú að “modified” aðferðin gefur meiri tölulegan aðskilnað milli efna og gefur auk þess álag og þjöppunarorku sem er líkara því sem á sér stað í vegi, sjá töflu 1.

**TAFLA 1 Kennistærðir fyrir Bg-próf**

<b>Kennistærðir</b>	<b>“Standard” Proctor</b>	<b>“Modified” Proctor</b>
Þyngd hamars [kg]	2,5	4,54
Snertiflötur [cm <sup>2</sup> ]	19,6	19,6
Fallhæð [cm]	30,48	45,72
Fjöldi högga	3 x 25	5 x 25
Stærð sýnis [cm <sup>3</sup> ]	943,3	943,3
Kornastærð [mm]	0 - 19	0 – 19
Hámarksálag [Mpa]	1,53	1,87
Þjöppunarorka [kJ/m <sup>3</sup> ]	592	2693

Á fyrstu árum BUSL-samstarfsins var ákeðið að prófa steinefnabanka Efnisgæðanefndar með Bg-prófi, bæði “standard” og “modified” aðferð. Til þess að fá beinan samanburð á milli efna hvað varðar styrk þeirra var ákeðið að prófa öll efnin við staðlaðar aðstæður, þannig að niðurstöðurnar endurspegluðu einungis styrk steinefnanna sem prófuð voru. Til þess að nýta Bg-aðferðina sem styrkleikapróf þurfti að staðla þætti sem hafa áhrif á niðurstöður, aðra en styrk steinefnisins sem prófað er, þ.e.a.s. kornastærðardreifingu og rakastig sýnis við prófun. Því var sams konar kornastærðardreifing prófuð á öllum efnum steinefnabankans og við sama rakastig. Það þýddi í raun að velja þurfti sérstaklega hvaða kornastærðardreifingu skyldi prófa og við hvaða rakastig. Ákveðið var að nota svokallaða “Füller” kornakúrfu án fínefna við prófun og að halda rakastigi við 6 %. Nokkrar ástæður eru fyrir þessu vali. Í fyrsta lagi er tiltölulega auðvelt er að setja saman “Füller” kornakúrfu, sérstaklega úr seti, óháð því hversu mikið fínefni er í efninu. Í öðru lagi er kornakúrfan sem valin var að mestu leyti innan viðmiðunarmarka fyrir burðarlagsefni, að undanskildu fínefnainnihaldinu, en hugmyndin var sú að prófunaraðferðin hentaði fyrir prófanir á burðarlagsefni. Í þriðja lagi var rakainnihald valið með tilliti til þess sem hentar fyrir kornastærðardreifinguna, en æskilegt var talið að prófa efni við ákveðið rakastig í stað þess að prófa það þurrt, en sýnt hefur verið fram á að rakt steinefni er veikara fyrir höggáraun en þurrt steinefni.

Hér að neðan eru upplýsingar frá Hafsteini Hilmarssyni, tæknifræðingi á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, um það hvernig sýni er útbúið í “modified” Bg-próf á steinefnasýni með “Füller” kornakúrfu við 6 % rakainnihald.

## BG-stuðull, -modified Proctor.

Útbúið er 5 kg sýni með þeirri kornadreifingu, sem sýnd er hér að neðan.

Ath! Fyrir prófun þarf að þvo sýnið þannig að ekkert efni sé undir 0,063mm. Þegar kúrfan hefur verið sett saman, er sýnið sigtað og fínefni undir 0,063mm fleygt. Þær niðurstöður gilda sem niðurstöður fyrir brot.

Sama sýni er síðan blandað vel saman og bætt í það 6% raka. Sýnið stendur síðan í ca. 16 klst. með vatninu í áður en það er sett í modified Proctor.

Samsetning 5 kg Füllerkúrfu án fínefnis er eftirfarandi:

ISO sigti mm	sigtileif g	efni á hverju sigti (g)
22,4	0	0
16	850	850
11,2	1597	747
8	2183	586
4	3106	923
2	3748	642
1	4198	450
0,5	4513	315
0,25	4735	222
0,125	4891	156
0,063	5000	109
botn	5000	0

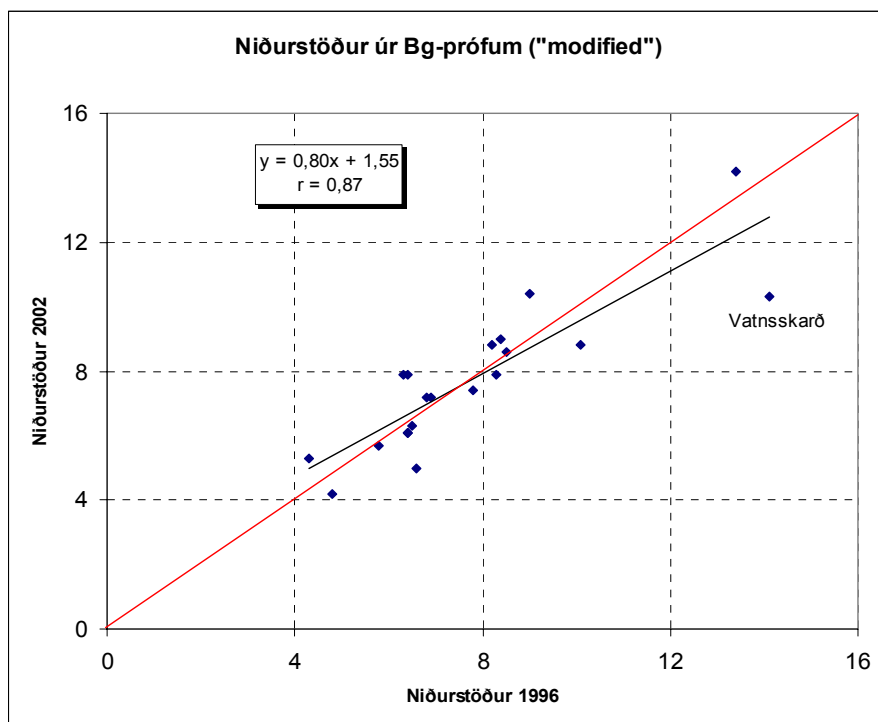
### 3. Niðurstöður

Niðurstöður prófana á Bg-stuðli steinefnabankans eru birtar í töflu 2. Þar eru jafnframt birtar niðurstöður annarra styrkleikaprófa sem gerð hafa verið á steinefnabanka Efnisgæðanefndar, en nánari umfjöllun um þau er að finna í skýrslu Efnisgæðanefndar, E-28.

**TAFLA 2 Niðurstöður allra styrkleikaprófana sem gerð hafa verið á steinefnabanka Efnisgæðanefndar**

SOURCE	LA-%	SZ-%	Bg-stand.	Bg-mod.	TFVdry	TFVwet	AIVdry	AIVwet	DSC, 5	DSC, 1,6	Ný Bg-gildi
Bakkasel	16,5	19,9	3,0	8,4	242	176	16,2	18,2	36,0	14,5	9,0
Björgun - Akurey	16,4	15,1	0,9	4,8	359	298	10,5	13,1	33,3	14,6	4,2
Brjánslækur	17,1	17,4	2,1	6,5	270	189	14,9	16,0	35,0	14,0	6,3
Glerá	17,3	20,1	2,1	8,5	269	174	18,1	18,1	37,5	16,0	8,6
Haukadalsá	19,2	17,5	2,0	6,9	199	191	20,7	18,6	38,5	15,0	7,2
Háumelar	17,6	18,0	2,2	6,4	275	195	15,2	17,6	34,0	13,0	7,9
Hólabrú	15,7	16,7	1,4	6,4	319	212	12,0	14,7	34,0	13,5	6,1
Hólmkelsá	21,7	20,6	1,7	7,8	197	179	21,8	16,2	43,0	20,0	7,4
Hraunaós	15,6	17,2	1,9	6,8	311	211	12,3	15,1	31,0	12,5	7,2
Jökulsá á Dal	17,6	19,0	2,1	6,6	251	198	17,0	18,7	36,0	14,5	5,0
Jökulsá á Fjöllum	22,2	19,8	2,0	8,3	188	188	15,2	13,5	42,0	21,0	7,9
Krossanes	16,7	22,6	2,9	10,1	242	194	16,7	19,1	38,0	24,6	8,8
Lárkot	16,1	16,6	2,8	6,3	307	185	14,0	14,3	33,0	13,0	7,9
Lækjarbotnar	30,0	25,1	4,4	13,4	100	101	28,3	27,2	55,0	29,0	14,2
Markarfljót	18,5	18,3	1,5	6,4	291	252	18,2	18,4	36,0	15,0	6,1
Norðfjarðará	19,2	19,2	2,7	8,2	266	172	18,4	22,2	36,0	15,0	8,8
Rauðamelur	23,5	20,0	2,3	9,0	175	137	17,0	23,9	45,0	24,0	10,4
Stóra-Fellsöxl	12,1	16,5	1,5	4,3	432	227	12,6	13,1	32,0	12,6	5,3
Vallholt	17,4	17,5	1,5	5,8	289	251	14,8	17,7	34,3	24,0	5,7
Vatnsskarð	36,8	28,0	4,6	14,1	126	83	29,2	32,4	52,0	30,0	10,3

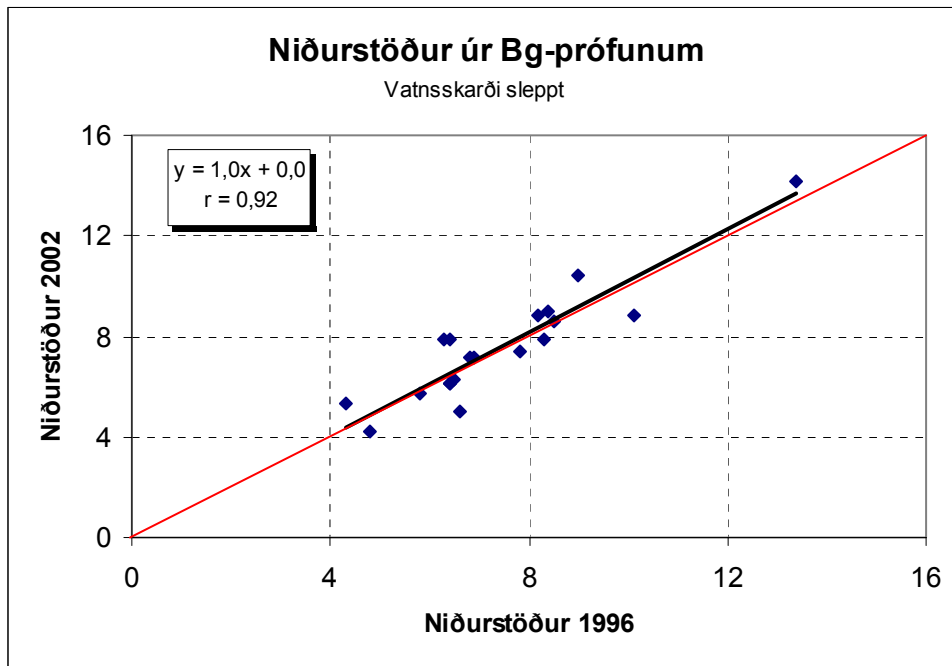
Mynd 3 sýnir samanburð á Bg-gildum sem fengust í fyrstu umferð (niðurstöður 1996) og þeim sem fengust við endurtekningu á prófinu (niðurstöður 2002).



**MYND 3 Samanburður á Bg-gildum steinefnabanka Efnisgæðanefndar við endurtekna mælingu.**

Það sést á myndinni að fylgni milli endurtekkinna prófana með "modified" Bg-aðferð á steinefni með "Füller" kornakúrfu og 6 % rakainnihaldi er sterk eins og vænta mátti.

Benda má á að í einu tilfalli munar umtalsverðu á mældum gildum, en það er þegar steinefni frá Vatnsskarði á í hlut, en það kemur betur út úr seinna prófinu en því fyrra. Reyndar þarf að taka þann samanburð á Bg-gildum með varúð, þar sem Vatnsskarðsefnið í steinefnabankanum kláraðist og sækja þurfti viðbótarefnið í námu. Því eru ákveðnar líkur á því að ekki sé um nákvæmlega sama efnið að ræða í því tilfalli. Ef Vatnsskarðsefninu er sleppt úr samanburðinum á þeim forsendum að ekki sé um sama efnið að ræða fæst mynd 4.



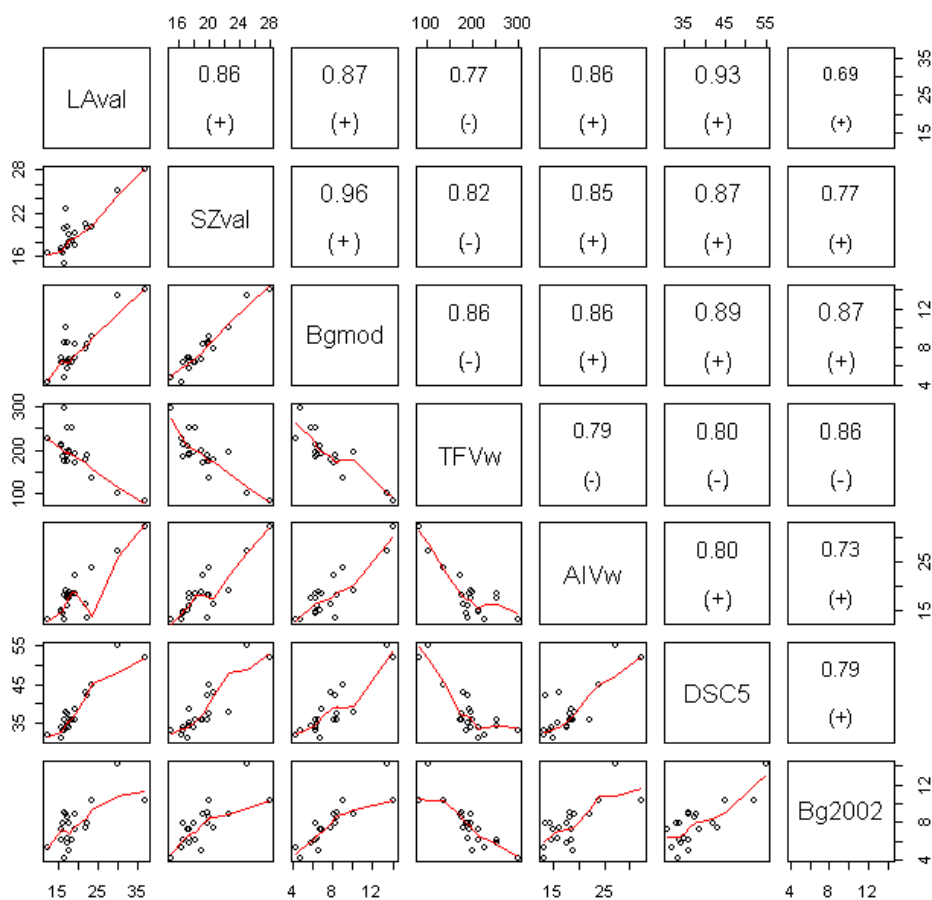
**MYND 4 Samanburður á Bg-gildum steinefnabanka Efnisgæðanefndar við endurtekna mælingu, Vatnsskarðsefni sleppt.**

Mynd 4 styrkir þá tilgátu að efnið úr Vatnsskarðsnámunni sem sótt var í seinna prófið hafi ekki verið að öllu leyti sambærilegt við það sem sótt var í námuna í upphafi. Ef sú er raunin má segja að verulega sterk fylgni er á milli tvítekinna prófana á sama efni með prófunaraðferðinni sem um ræðir. Fylgnistuðullinn  $r$  er 0,92 og jafna aðfallslínaunnar er þannig að  $y=x$ .

Í framhaldi af ofangreindum niðurstöðum má nú skoða sambandið á milli eldri og nýrri prófanna með Bg-aðferð og annarra styrkleikaprófanna. Mynd 5 er fengin með notkun Techmodel forritsins frá Bergspá ehf og sýnir bæði aðfallslínur og fylgnistuðla milli einstakra valinna styrkleikaprófa. Ef fylgnistuðlar fyrir eldri og nýrri Bg-gilda við niðurstöður annarra prófa eru bornir saman sést að þeir eru í öllum tilfellum hærri fyrir eldri Bg-gildin en þau nýrri. Ástæðan fyrir því er enn og aftur sú að almennt er fylgni milli styrkleikaprófa góð, en Vatnsskarðsgildið í nýju Bg-gildunum skeykir myndina í því tilfalli. Það virðast því öll rök hníga að því að Vatnsskarðsefnið sem prófað var í seinni umferðinni með Bg-prófi hafi ekki verið marktækt, eða sambærilegt við það sýni sem tekið var áður úr námunni.



## Scatterplots and Correlations



### MYND 5 Niðurstöður aðfallsgreiningar og fylgni milli styrkleikaprófa

Techmodel forritið býður upp á mun fleiri aðgerðir til að meta talnamengi sem þetta. Í þessu tilfalli er þó ekki talin vera þörf á frekari vinnslu með forritinu, þar sem megin tilgangur verkefnisins var að athuga hversu áreiðanleg ein prófunaraðferð er við endurtekningu.

## 4. Ályktanir

Ásbjörn Jóhannesson verkfræðingur á Rb tók að sér að gera tölfræðilega úttekt á endurteknum mælingum á Bg stuðli. Samkvæmt hans mati er ekki tölfræðilega rétt að sleppa Vatnsskarðsefninu út úr talnasafninu, þar sem gagnasafnið er of takmarkað til að réttlæta það. Ásbjörn ályktar á eftirfarandi hátt: “Með Bg á bilinu ~ 4-14 eru góðar líkur á að staðalfrávik einstakra prófana sé ~ 0,65 að jafnaði og að 95 % skekkjumörk á einstakri mælingu á Bg sé  $\pm 1,3$ . Sennilega er **r** (repeatability) < 0,65 og **R** (reproducibility) > 0,65. Gögnin eru hins vegar of lítil (of fáar endurtekningar á sama efni) til að hægt sé að segja mikið meira”. Þrátt fyrir að Vatnsskarðið sé haft með í útreikningum á endurtekningarstuðlum eru sennileg **r** og **R** gildi ekki verulega há.

Höfundar þessarar skýrslu telja að Bg-aðferðin sem hér er lýst henti vel til mælinga á styrk burðar- og styrktarlagsefna þar sem það á við. Kostir aðferðarinnar eru meðal annars þeir að a) kornakúrfa er í góðu samræmi við það efni sem notað er úti í vegi og b) vísbendingar hafa fengist um að endurtekningarstuðlar séu vel viðunandi.

## 5. Heimildir og tengd rit

PM-Techmodel 1.0, User Manual 2002: Petromodel Ltd. ([www.petromodel.is](http://www.petromodel.is))

Gunnar Bjarnason, Pétur Pétursson og Sigurður Erlingsson, (2000). *Aggregates resistance to fragmentation, weathering and abrasion*. Unbound Aggregates in Road Construction (UNBAR). Ritsjóri Andrew R Dawson, A.A.Balkema/Rotterdam/ Brookfield/2000.

Gunnar Bjarnason, Sigurður Erlingsson, Pétur Pétursson og Valtýr Þórisson (1999). *COURAGE –Icelandic final report*. BUSL skýrsla nr. E-36, Reykjavík.

Gunnar Bjarnason, Pétur Pétursson og Sigurður Erlingsson, (1999). *COURAGE - Aggregates resistance to fragmentation, weathering and abrasion – comparison of different test methods*. BUSL skýrsla nr. E-37, Reykjavík.

Pétur Pétursson, (1996). *Durability and strength assessment of Icelandic basalt*. BUSL skýrsla nr. E-13, Reykjavík.

Pétur Pétursson, (1998). *Niðurbrot steinefna-styrkleiki-veðrunarþol-slitþol*. BUSL skýrsla nr. E-20, Reykjavík.

Sigurður Erlingsson, (1996). *Niðurbrot steinefna í óbundnum burðarlögum – staða þekkingar*. BUSL skýrsla nr. E-5, Reykjavík.

Sigurður Erlingsson, (2000). *Niðurbrot steinefna í óbundnum burðarlögum – áhrifavaldar og útreikningar*. BUSL skýrsla nr. E-19, Reykjavík