

Þvottabretti á malarvegum



Unnið af Þorbjörgu Sveinsdóttur og Páli Gauta Pálssyni

í samstarfi við

Rannís, Vegagerðina, Eflu verkfræðistofu og Háskólann í Reykjavík

Leiðbeinendur: Haraldur Sigþórsson og Gunnar Bjarnason

Ágúst 2009



Heiti verkefnis: Þvottabretti á malarvegum

Dagsetning: Ágúst 2009

Rannís – Rannsóknarmiðstöð Íslands, Laugavegi 13, 101 Reykjavík, S: 515 5800

Vegagerðin, Borgartúni 7, 105 Reykjavík, S: 522 1000

Efla verkfræðistofa, Suðurlandsbraut 4A, 108 Reykjavík, S: 412 6000

Háskólinn í Reykjavík, Tækni- og verkfræðideild, Ofanleiti 2, 103 Reykjavík, S: 599 6200

Höfundar: Haraldur Sigþórsson, Páll Gauti Pálsson og Þorbjörg Auður Ævarr Sveinsdóttir

Verkefnið er kostað af: Nýsköpunarsjóði námsmanna hjá Rannís og Vegagerðinni

Efla verkfræðistofa sá um úrvinnslu jarðvegssýna

Verkefnishópur: Haraldur Sigþórsson, Þorbjörg Sveinsdóttir, Páll Gauti Pálsson og Gunnar Bjarnason

Heiti skýrslu: Þvottabretti á malarvegum

Ágrip (íslensku/ensku):

Lykilorð: Þvottabretti, malarslitleg, sandalda,

Fjöldi blaðsíðna: 19

Efnisyfirlit

Inngangur	5
Fyrri rannsóknir.....	5
Washboard Road: The Dynamics of Granular Ripples Formed by Rolling Wheels.....	5
Keith Mather	7
Fínefni í malarslitolögum.....	7
Ripples in the Road	8
Eru niðurstöður fyrri rannsókna sambærilegar?	9
Fræðin.....	10
Aðferðir	12
Niðurstöður.....	13
Umræður.....	16
Heimildir	18

Myndaskrá

Mynd 1: Öldumyndun í tilrauninni (Taberlet o.fl., 2007).	6
Mynd 2: Hliðarmynd öldu og stefna hjóls á dæmigerðu þvottabretti í tilraun (Taberlet o.fl., 2007).	7
Mynd 3: Venjuleg alda, örvarnar lýsa öldulengd (e. pitch) og öldudýpt (e. depth) (Fishman, 2009).	9
Mynd 4: Tilfærsla efnis með vindi (The Geological Society, 2009).	11
Mynd 5: Udden-Wentworth-kornastærðarskalinn (MSU, 2006).	12
Mynd 6: Frá mælingum á vettvangi.	13
Mynd 7: Frétt mbl.is um slæman veg yfir Lyngdalsheiði (Mbl.is, 2009).	15
Mynd 8: Samanburður á þversniðum. Engin aðgreining efnis (Hvaleyrarvatnsvegur) og mikil aðgreining (Kaldárselsvegur). Einnig er sýnt á skematískan hátt þversnið í gegnum öldu.	16

Töfluskrá

Tafla 1: Meðalöldudýpt og staðalfrávik mælinga á vegum.	13
Tafla 2: Meðalöldulengd og staðalfrávik mælinga á vegum.....	14
Tafla 3: Umferðartölur frá 2008. Ekki voru til upplýsingar fyrir Hvaleyrarvatnsveg og Kaldárselsveg (Vegagerðin, 2009).	14

Inngangur

Stofnvega- og tengivegakerfi Íslands er í heild 12.869 km (Vegagerðin, 2008a). Þar af eru 4.949 km (Vegagerðin, 2008b) lagðir bundnu slitlagi og er því stærri hluti vegakerfisins, eða 7920 km, malarvegir. Í dag eru flestir meiri háttar vegir lagðir með bundnu slitlagi en á fáfarnari slóðum eru þó enn lagðir malarvegir og eldri malarvegum þar er enn haldið við. Þetta gildir einnig víða í öðrum löndum, t.d. í svokölluðum þróunarlöndum þar sem fjármagn er af skornum skammti og vegakerfi langt (Taberlet, Morris og McElwaine, 2007). Frekari vitneskja um myndun þvottabretta, sem verkefni eins og þetta getur aflað, er gagnleg við að bæta úr viðhaldi malarvega sem eru stór hluti vegakerfa líkt og hér á landi.

„Þvottabretti er það kallað, þegar litlar öldur myndast þvert á akstursstefnu á yfirborði malarlitlaga.“ (Þórir Ingason, 2002). Fyrirbærið myndast gjarnan á malarvegum og veldur öikumönnum bæði ama og óþægindum og dregur úr öryggi þeirra í akstri. Orsakir og myndun þvottabretta eru tiltölulega lítið rannsakaðar þó að ýmsar rannsóknir hafi verið gerðar.

„Þrenns konar ástæður eru nefndar fyrir myndun þvottabretta. Í fyrsta lagi aðskilnaður og tilfærsla korna í vegyfirborðinu, sem er líklegasta skýringin þegar yfirborðið er þurrt. Í öðru lagi geta þvottabretti myndast þegar fínefni í yfirborðinu slettast upp í rigningu, þó algengara sé að það valdi holumyndun. Þriðja ástæðan er svo varanleg samþjöppun malarlitlagsins sem myndar bylgjur í yfirborðið“ (Þórir Ingason, 2002).

Í þessu verkefni var eðlisfræði fyrirbrigðisins skoðuð en slíkt hefur lítið verið gert. Enn fremur var ætlunin að draga saman niðurstöður annarra um efnisfræði þessa fyrirbrigðis. Farið var í vettvangsferðir og þvottabretti mæld upp. Þá verður reynt finna ástæður fyrir útliti þvottabretta og meta hvort öldulengd og öldudýpt þeirra sé regluleg eða ekki. Áhugavert er til dæmis að vita hvort form og lögun rákanna eru alltaf svipuð á mismunandi stöðum og yfir veginn. Hagnýtt gildi þessarar rannsóknar er ótvírætt og felst m.a. í haldbetri þekkingu á fyrirbrigðinu og þar með stuðningi við áhrifamestu aðgerðirnar við að forðast tilurð þvottabretta á nýjum malarvegum og til þess að koma í veg fyrir þau á eldri vegum.

Fyrri rannsóknir

Washboard Road: The Dynamics of Granular Ripples Formed by Rolling Wheels

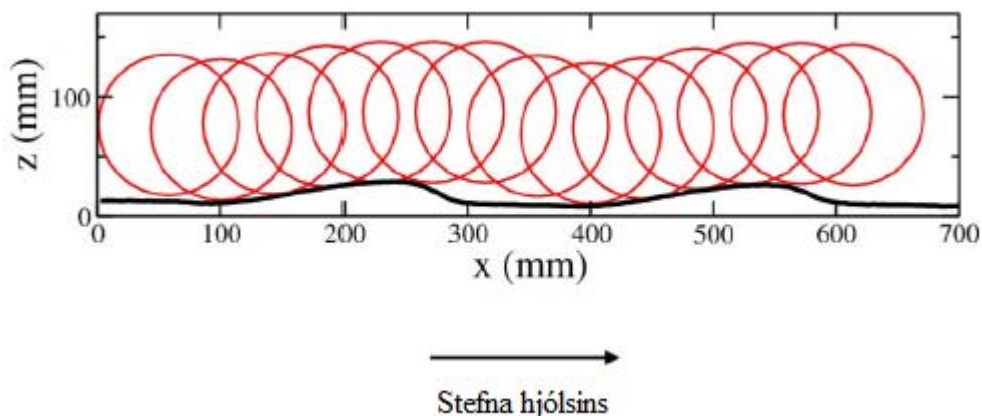
Ein stærsta rannsókn sem hefur verið gerð á myndun þvottabretta er samstarfsverkefni milli Toronto- og Cambridge-háskólanna. Rannsóknin var birt sem grein í tímaritinu Physical

Review Letters í ágúst árið 2007. Tilraunir rannsóknarhópsins fólu í sér að líkja með einfölduðum hætti eftir myndun alda í efni með mismunandi kornastærð og með því að beita misjöfnum þunga á efnið. Lag af jarðvegi (5-10 cm þykkt) var sett á metrabreitt snúningsborð og hart gúmmihjól, sem fest var við arm, var látið rúlla hring eftir hring á u.þ.b. 10 km hraða yfir efnið. Tóku þá að myndast öldur í sandinum, eftir akstursstefnu hjólsins, með jafna lengd og með reglulegu millibili (sjá mynd 1). Þegar ferlið var endurtekið með efni sem hafði aðra kornastærð gerðist nákvæmlega það sama og svo virtist sem samþjöppun og aðgreining efnisins hefðu ekkert að gera með niðurstöðuna (Taberlet o.fl., 2007; Welland, 2009a).



Mynd 1: Öldumyndun í tilrauninni (Taberlet o.fl., 2007).

Með því að beita *soft-particle discrete element method* (DEM) með stærðfræðilegum líkönum á fyrirbærið gat hópurinn greint innri byggingu og þróun aldnanna (sjá mynd 2) (Taberlet o.fl., 2007; Welland, 2009a). Rannsóknin sýndi fram á að samband er á milli öldulengdar og þungans sem beitt er að því leyti að dýpt öldunnar verður meiri og öldulengd styttri eftir því sem þunginn er meiri. Stærð hjólanna virtist ekki skipta máli ef sama þunga var beitt (Taberlet o.fl., 2007). Rannsóknarhópurinn veitti því athygli að stefna aldnanna virtist alltaf vera í akstursátt ólíkt því sem þeir tóku eftir á malarvegum (Taberlet o.fl., 2007). Einnig bendir margt til þess að sterkt samband sé á milli svipaðra fyrirbæra víðast hvar í náttúrunni þar á meðal í sandöldum eyðimarka (Taberlet o.fl., 2007).



Mynd 2: Hliðarmynd öldu og stefna hjóls á dæmigerðu þvottabretti í tilraun (Taberlet o.fl., 2007).

Keith Mather

Keith Mather var sennilega fyrsti vísindamaðurinn til að líkja eftir ferli þvottabrettismyndunar á tilraunastofu til þess að skilja myndun þeirra. Þessi tilraun gerði hann á heimili sínu á Nýja-Sjálandi árið 1963 og var kostnaðurinn við hana einungis 25 dollarar. Mather vildi ekki setta sig við þær ástæður sem áður höfðu verið notaðar til að útskýra þvottabretti, þ.e. að sérstakan jarðveg, vind frá ökutækjum, útblástur frá bílum eða slátt frá bílvélum þyrfti til. Hann hafði líka veitt því athygli að fyrirbærið átti sér hliðstæður á öðrum vettvangi t.d. á lestarteinum og í skíðabrekkum (Rozell, 1996).

Tilraun Mathers var ekki ósvipuð þeirri sem var gerð í samstarfi Toronto- og Cambridge-háskóla nema rannsóknin hans myndi teljast talsvert óformlegri og ónákvæmari. Mather lét hjól rúlla eftir efni með misjafna kornastærð, þ. á m. hrísgrjónum og sykri, og fylgdist með öldum myndast í efninu. Hann dró þá ályktun að rannsókn lokinni að ákveðnir þættir væru nauðsynlegir til að þvottabretti myndaðist: þurr jarðvegur sem er laus í sér og steinn eða ójafna. Þá kvað hann einu lausnina við þvottabrettum á malarvegum vera að ökumenn þyrftu að hægja akstur sinn niður í 8 km/klst. eða vera á blöðrudekkjum (Rozell, 1996).

Fínefni í malarlitlögum

Vegagerðin hefur síðustu árin beitt sér markvisst fyrir því að auka öryggi og gæði vega landsins og vill hún haga uppbyggingu og viðhaldi malarvega þannig að vel sé gert. Þetta hefur að mestu falið í sér athuganir á heppilegri samsetningu efna í slitlag veganna þannig að það haldi og verði ekki holótt eða á þeim myndist svokölluð þvottabretti (Ásbjörn

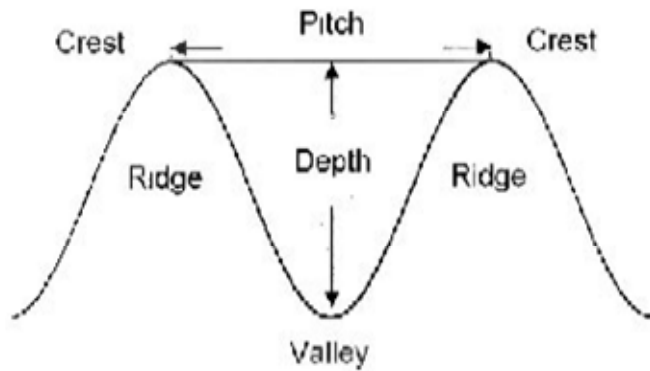
Jóhannesson, Gunnar Bjarnason, Pétur Pétursson og Þórir Ingason, 2004). Ekki er víst að hægt sé að notast við erlenda verkferla við að bæta úr malarslitlögum á Íslandi þar sem íslenskar jarðmyndanir eru mjög ungar á jarðfræðilegan mælikvarða. Námur í nágrenni við veginna eru líka misgóðar og ekki er alltaf hentugt efni í slitlag að finna í þeim. Æskilegar berggerðir á borð við leir hafa í flestum tilfellum ekki náð að myndast og þjálmi íslensks jarðvegs er því ekki mikil. Þjálmi er mismunur á flæðimarki og þjálnimarki og eftir því sem þjálmin er meiri helst fínefnið þjálmt á breiðara rakabili og efnið heldur betur í sér raka (Ásbjörn Jóhannesson o.fl., 2004).

Kornadreifing er talin hafa afgerandi áhrif hvað varðar gæði slitlaga og í verklýsingum Vegagerðarinnar eru kröfur um að fínefni sem eru < 0,063 mm eigi að vera á bilinu 10–15% af malarslitlaginu. Mikilvægast er að kornadreifing sé þannig að sem minnst holrými sé á milli korna í efninu þannig að hvorki má vera of lítið né of mikið af fínefnum (Ásbjörn Jóhannesson o.fl., 2004). Hlutfall leirs í heildarmagni fínefna er æskilegast á bilinu 10-30% og eykur það þjálmi slitlagsins. Sem bindiefni er íslenskur leir talinn töluvert frábrugðinn t.d. norskum leir og „rauður leir“ sem er fínefni úr tertíera-berggrunninum er talinn góður til bindingar í malarslitlög (Ásbjörn Jóhannesson o.fl., 2004). Frekari niðurstöður skýrslunnar eru þessar:

„Í meginráttum eru gæði malarslitlaga háð efniseiginleikum, sem bæði ráðast af grunneiginleikum efnisins í námunni en ekki síður vinnsluáðferðum sem notaðar eru við framleiðslu efnisins svo sem hörpun, mölun og íblöndun; ennfremur áðferðum við útlögn efnisins og viðhaldi svo sem þjöppun, rykbindingu og heflun. Gæði slitlagsins á veginum eru einnig háð aðstæðum við og á veginum svo sem úrkomu, afvötnun og umferðarálagi.“ (Ásbjörn Jóhannesson o.fl., 2004).

Ripples in the Road

Technology Transfer Center í New Hampshire er með það að markmiði að sjá veghöldurum á öllum stigum fyrir tæknilegri og verkfræðilegri þekkingu um vegi og brýr til viðhalds. Grein Stefanie R. Fishman (2009) sem er birt á vef þeirra beinir athygli að úrbótum og möguleikum við viðhald malarvega. Fishman fjallar sérstaklega um þvottabretti á malarvegum og greinir þau í þrjá flokka eftir stærðargráðu: lítila öldu með dýpt minni en 2,54 cm, miðlungsöldu sem er á bilinu 2,54-7,62 cm og stóra öldu sem er meira en 7,62 cm að dýpt (sjá mynd 3). Fjarlægð á milli öldutoppa er venjulega á bilinu 17,78-20,32 cm (Fishman, 2009).



Mynd 3: Venjuleg alda, örvarnar lýsa öldulengd (e. pitch) og öldudýpt (e. depth) (Fishman, 2009).

Fishman (2009) segir þvottabrettismyndun verða með tvennum hætti. Annars vegar með aflverkun dekkja á yfirborði vegar og hins vegar með fjöðrun ökutækja á vegi. Meiri hraði eykur aflverkun dekkjanna og fjöðrun og hraðar þar með myndun þvottabretta og dýpt þeirra. Einnig er bent á að það að draga úr hraða, auka hraða og að beygja setji meira álag á veginn og af þeim sökum myndist þvottabretti fyrst við vegamót og í lág- og hábogum (Fishman, 2009).

Í greininni bendir Fishman á hvernig megi draga úr þvottabrettismyndun. Það megi gera með því að hvetja ökumenn til að aka hægar, setja upp hraðatakmarkanir, nota rétt unnið og malað efni í slitlag og undirlag, halda vegi vel við og með því að tryggja góða afvötnun og nota rykbindiefni á veginn (Fishman, 2009). Einnig bendir Fishman á hvernig beri að halda við vegi þegar þvottabretti er byrjað að myndast. Ef öldudýpt telst lítil er nóg að hefла veginn en sé hún í milliflokki verði að bæta efni á veginn. Mesta öldudýptin krefst hins vegar flóknari aðgerða: heflunar, meira efnis, bindiefnis og þéttingar slitlagsins. Best er að þétta slitlagið eftir rigningu því að þá virkar rakinn sem binding og henta haust og vor þannig best til viðhalds. Að lokum er bent á að rétt sé að athuga með lagningu bundins slitlags ef fleiri en 200 bílar á dag fara um veginn (Fishman, 2009).

Eru niðurstöður fyrri rannsókna sambærilegar?

Ýmsir þættir virðast vera sameiginlegir meðal þeirra rannsókna, sem gerðar hafa verið, þó að sumt stangist enn á, enda er mat á mörgum þáttum huglægt og eru rannsóknir á fyrirbærum sem þessum erfiðar þar sem endursköpun og stjórnun tilrauna eru gríðarlega flóknar. Inn í jöfnu sem þessa spila þættir eins og veðurfar, samsetning efna innan malarslitlaga, magn

fínefna, mismunandi eiginleikar efna eftir löndum og svæðum og magn og samsetning umferðar.

Það virðist sem það sé endanlega búið að hrekja áhrifavalda þvottabrettismyndunar á borð við fjöðrun bíla, dekkjastærð, ákveðna tegund jarðvegs og útblástur bíla (Rozell, 1996; Taberlet o.fl., 2007). Þess má þó geta að Fishman (2009) telur fjöðrun bíla vera mikilvægan þátt í myndum þvottabretta. Mögulegt er að Fishman (2009) hafi einungis gert athuganir á vettvangi og dregið ályktanir út frá því sem henni þóttu líklegir áhrifavaldar. Endursköpun ferlisins á rannsóknarstofu (Rozell, 1996; Taberlet, 2007), sem hefur þó sínar takmarkanir, bendir til annars. Þvottabrettin voru áður talin fyrirbæri sem gætu eingöngu orðið til af völdum manna og bíla en rannsóknir og nánari athuganir hafa sýnt að svo er ekki. Rannsóknir Keiths Mathers (Rozell, 1996) og rannsóknarteymanna frá Toronto og Cambridge (Taberlet o.fl., 2007) sýna enn fremur fram á að kornastærð efnisins skiptir ekki máli. Öldur myndast í efni svo lengi sem það er þurr og á það verkar kraftur sem veldur tilfærslu efnisins. Af hverju skiptir það þá máli að velja efni í vegi og huga að samsetningu þess til að koma í veg fyrir myndun þvottabretta? Fishman (2009) og Ásbjörn (2004) eru sammála um það að vinnsla efnisins og samsetning geti dregið verulega úr þvottabrettismyndun og skiptir ekki síst máli magn leirs eða bindiefnis í jarðveginum. Ýmsir þættir benda til þess að of mikill leir verði til þess að holur myndast á vegi frekar en þvottabretti og of lítill leir verði til þess að þvottabretti myndast og rykmyndun verði mikil (Ásbjörn Jóhannesson, 2004; Valkonen, á.á.). Þær rannsóknir og athuganir sem hafa verið gerðar á þvottabrettismyndun benda allar til þess að hraði og kraftur hafi mikið um það að segja hversu djúpar öldurnar verða og hversu stór bil verða milli öldutoppa (Taberlet, 2007; Fisman, 2009; Rozell, 1996). Það er fyllilega í samræmi við þau fræði sem eru að baki myndun sandalda á ströndum og í eyðimörkum og skyldra fyrirbæra (Boggs, 2001). Einnig er hægt að lesa út vísbendingar í þá átt að sandöldur og þvottabretti byrji að myndast við það að einhvers konar breyting eða hindrun verði í vegi þeirra (Boggs, 2001; Rozell, 1996; Fishman, 2009).

Fræðin

Eins og fram kemur í fyrri rannsóknum er fyrirbærið þvottabretti ekki talið einstakt manngert heldur á það sér hliðstæður í náttúrunni og á öðrum vettvangi. Dæmi um þetta eru sandöldur í eyðimörkum, sandgárur í fjörum, snjórakir í skíðabrekkum og bylgjur í jarðvegi við lestarteina. Myndun þessara fyrirbæra, þó hún sé ef til vill ekki nákvæmlega sú sama, má rekja til þess að það eru öfl sem virka á efnið ofan frá og ýta því til hliðar. Vissulega eru aðrir

þættir sem skipta máli og má þar helst nefna kornastærð efnisins, hraða vinds, stærð sjávaraldna og þunga bíla.

Það sem á sér stað þegar sandöldur myndast er að vindur feykir sandi á undan sér þar til að komið er að einhver skonar hindrun. Þá byrjar aldan að hlaðast upp í þá stefnu sem vindurinn er (sjá mynd 4). Aldan skriður svo áfram og brotnar niður fram fyrir sig (Boggs, 2001).



Mynd 4: Tilfærsla efnis með vindi (The Geological Society, 2009).

Það sama á sér stað með tilfærslu efnis í vatni og eins skiptir kraftur máli þar sem meiri kraft þarf til að flytja stærri agnir en smærri. Meiri kraftur verður til þess að styttri vegalengd verður á milli öldutoppa og öldudalirnir verða dýpri (Boggs, 2001). Stærð sandkorna og fínefna skiptir miklu máli þegar kemur að tilfærslu efnis. Á mynd 5 má sjá Udden-Wentworth-kornakúrfuskalann (Welland, 2009b).

Skilgreiningin á gárum (e. ripples) og öldum (e. dunes) er þessi samkvæmt Boggs (2001):

„Gárir eru minnsta tegund setforms og eru á bilinu 5-20 cm á lengd og 0,5-3 cm á hæð. Þannig að gárustuðull (e. ripple index) (sem er hlutfallið á milli gárulengdar og gáruhæðar) er á bilinu 8 í grófum sandi og 20 í fínum sandi. Gárir myndast í seti, sem fer allt frá því að vera á stærð við silt (0,06 mm) til sands sem er nær allt að 0,7 mm í stærð. Stærri setform með öldulengd á bilinu <1 m í yfir 1000 m eru kallaðar sandöldur. Þær eru svipaðar að lagi og gerð og gárir nema að þær eru mun stærri og þær myndast við hraðari aflverkun í seti sem er með kornastærð frá fínum sandi til malar. Öldustuðull sandalda er á bilinu 5 í fínni sandi og upp í 50 í grófara seti.“
(Boggs, 2001).

Talið er að gæði malarslitlaga séu að miklu leyti byggð á réttu hlutfalli kornadreifingar. Vegagerðin gerir kröfur um að magn fínefnis sem er < 0,063 mm sé á bilinu 10-15% og kornadreifing komi þar með í veg fyrir of mikið eða of lítið holrými á milli korna í efninu.

Sýni sem voru tekin á vettvangi voru með magn fínefnis í stærðinni < 0,063 mm á bilinu 7-12%. Þar af voru þrír mælistaðanna með undir 10% af fínefnum.

Millimeters	μm	Phi (ϕ)	Wentworth size class	
4096		-20	Boulder (-8 to -12 ϕ)	Gravel
1024		-12		
256		-10	Pebble (-6 to -8 ϕ)	
64		-8		
16		-6	Pebble (-2 to -6 ϕ)	
4		-4		
3.36		-2	Gravel	
2.83		-1.75		
2.38		-1.50		
2.00		-1.25		
1.68		-1.00	Very coarse sand	
1.41		-0.75		
1.19		-0.50		
1.00		-0.25	Coarse sand	
0.84		-0.00		
0.71		0.25		
0.59		0.50		
1/2	500	1.00	Medium sand	Sand
0.42	420	1.25		
0.35	350	1.50		
0.30	300	1.75		
1/4	250	2.00		
0.210	210	2.25	Fine sand	
0.177	177	2.50		
0.149	149	2.75		
1/8	125	3.00	Very fine sand	
0.105	105	3.25		
0.088	88	3.50		
0.074	74	3.75		
1/16	63	4.00	Coarse silt	
0.0530	53	4.25		
0.0440	44	4.50		
0.0370	37	4.75		
1/32	31	5	Medium silt	Mud
1/64	15.6	6	Fine silt	
1/128	7.8	7	Very fine silt	
1/256	3.9	8	Clay	
0.0020	2.0	9		
0.00098	0.98	10		
0.00049	0.49	11		
0.00024	0.24	12		
0.00012	0.12	13		
0.00006	0.06	14		

Mynd 5: Udden-Wentworth-kornastærðarskalinn (MSU, 2006).

Aðferðir

Farið var í vettvangsferðir til að skoða valda vegkafla og mældar voru öldulengdir og dýptir rákanna ásamt kornakúrfu og helstu efnasamsetningu. Einnig var lagt mat á langhalla þar sem það átti við. Ein af afurðum verkefnisins eru mælingar sem sýna form dæmigerðs þvottabrettis ásamt öðrum upplýsingum sem kunna að reynast einkennandi.

Á vettvangi voru malarvegskafar með þvottabrettum skoðaðir og valdir og þeir mældir upp (sjá mynd 6). Til þess voru notaðar spýtur, réttскеið, hallamál og málband. Staðsetning mælisvæða var merkt inn á kort. Unnið var úr gögnunum og niðurstöður settar fram með aðstoð umsjónarmanna. Þar er um að ræða lýsingar, útreikninga og samanburðartölfræði.



Mynd 6: Frá mælingum á vettvangi.

Niðurstöður

Helstu niðurstöður rannsóknarinnar eru þær að þvottabretti, ásamt öldulengd og öldudýpt þeirra, eru nokkuð reglulegt fyrirbæri (sjá töflu 1 og 2). Þvottabretti líta út eins og þau gera vegna þeirra krafta sem á þau verka og má sjá sterka hliðstæðu í náttúrulegum fyrirbærum á borð við gárur í fjörum og sandöldur í eyðimörkum.

Tafla 1: Meðalöldudýpt og staðalfrávik mælinga á vegum.

Vegur	Meðalöldudýpt [cm]	Staðalfrávik [cm]
<i>Suðurstrandarvegur</i>	2,03	0,45
<i>Uxahryggur</i>	3,30	0,71
<i>Geirlandsvegur</i>	1,60	0,37
<i>Hvaleyrarvatnsvegur</i>	3,11	0,98
<i>Lyngdalsheiði</i>	1,43	0,33
<i>Kaldárselsvegur</i>	2,73	0,66

Tafla 2: Meðalöldulengd og staðalfrávik mælinga á vegum.

Vegur	Meðalöldulengd [cm]	Staðalfrávik [cm]
<i>Suðurstrandarvegur</i>	42,61	6,74
<i>Uxahryggur</i>	81,60	20,54
<i>Geirlandsvegur</i>	39,36	2,78
<i>Hvaleyrarvatnsvegur</i>	53,97	17,07
<i>Lyngdalsheiði</i>	45,76	12,57
<i>Kaldárselsvegur</i>	42,72	12,55

Tafla 3: Umferðartölur frá 2008. Ekki voru til upplýsingar fyrir Hvaleyrarvatnsveg og Kaldárselsveg (Vegagerðin, 2009).

Vegur	ÁDU	SDU	VDU
<i>Suðurstrandarvegur</i>	54	117	13
<i>Uxahryggur</i>	29	57	10
<i>Geirlandsvegur</i>	32	48	19
<i>Lyngdalsheiði</i>	277	631	27

Sitthvað bendir til þess að ójöfnur í yfirborði vega geti haft áhrif á hvar þvottabretti myndast á vegum. Í einhverjum tilfellum virtist þvottabretti myndast án sjáanlegs áhrifavalds eins og ójöfnu. Með ójöfnum er þá t.d. átt við há- og lágboga, vegamót eða önnur tilfelli þar sem samfellu vegarins er raskað. Á vettvangi virtist vera mikil fylgni á milli aukinnar öldudýptar og öldulengdar þar sem langhalli, þverhalli, beygjur og vegristar eru og á mótum malbiksvegur og malarvegur, þ.e.a.s. þar sem breytingar verða á akstri vegna ójöfnu eða breytinga á samfellu vegarins. Öldur dýpkuðu þar sem bílar virðast hafa þurft að auka ferðina eða draga úr hraða.

Jarðvegssýni frá vegunum voru nokkuð áþekkt. Þrír mælistaðanna voru með undir 10% af fínefnum < 0,063 mm en ekki var hægt að sjá samræmi á milli kornastærðar og mælinga á öldudýpt og öldulengd.

Þvottabretti eru til ama og draga úr öryggi vegfarenda á ferðalagi (sjá mynd 7). Eftir að vegurinn yfir Lyngdalsheiði var athugaður sáust vel skemmdir á veginum og þá bæði þvottabretti og holur. Holurnar og skemmdir vegna slæmrar afvötnunar voru mun meira áberandi en þvottabrettin.



Innlent | mbl.is | 9.8.2009 | 15:09

Vegurinn yfir Lyngdalsheiði eins og þvottabretti

Skv. upplýsingum frá Vegagerðinni er vegurinn yfir Lyngdalsheiði mjög erfiður. Ekki tókst að hefja hann fyrir helgi og er hann því mjög holóttur. Mikið hefur rignt á svæðinu sem hefur ekki verið til að bæta ástandið.

Vegagerðinni hefur borist ein kvörtun frá ferðaþjónustuaðila, sem var að aka með farþega í rútu, um helgina.

Til stendur að hefja veginn á morgun.

Frá Lyngdalsheiði. [mbl.is/Einar Falur](http://mbl.is/EinarFalur)

- Senda frétt
- Upplestur á frétt
- Deila
- Blogga um frétt

Bloggað um fréttina

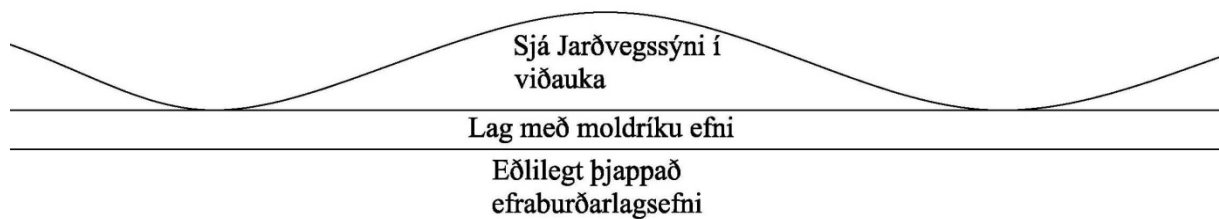
Dagný
Ekki sá eini

Haraldur Bjarnason
Er það frétt?

Fleiri

Mynd 7: Frétt mbl.is um slæman veg yfir Lyngdalsheiði (Mbl.is, 2009).

Í þeim tilvikum sem þversnið þvottabretta voru skoðuð mátti bæði sjá tilvik þar sem mikil aðgreining var á efni innan alda og svo engin sjáanleg aðgreining (sjá mynd 8). Í því tilviki sem aðgreining efnis var mikil var efsta lagið úr mól og sandi og þar fyrir neðan mátti greina moldríkt efni. Algengt var að sjá að lag af moldríku efni í öldudölum.



Mynd 8: Samanburður á þversniðum. Engin aðgreining efnis (Hvaleyrarvatnsvegur) og mikil aðgreining (Kaldárselsvegur). Einnig er sýnt á skematískan hátt þversnið í gegnum öldu.

Miðað við erlendar rannsóknir og þær mælingar sem voru gerðar fyrir þessa rannsókn má sjá að lögun og myndun þvottabretta virðist mjög svipuð hvort sem um er að ræða hérlandis eða erlendis.

Umræður

Fyrirbærið þvottabretti virðist eiga sér margar hliðstæður í náttúrunni og frekar vera náttúrulegur ferill en manngerður. Til dæmis má ætla að sandöldur í eyðimörkum, bylgjur á ströndum, bylgjur í skíðabrekkum og þvottabretti á malarvegum séu náskyldir hlutir. Sameiginlegir myndunarþættir eru til staðar í öllum tilvikum: kraftur sem færast niður og/eða til hliðar eftir efninu og ýtir því á undan sér og niður. Þar sem sýnt hefur verið fram á að bylgjur myndist við að hjóli sé rúllað eftir og yfir efni þrátt fyrir mismunandi kornastærð þess (Taberlet o.fl., 2007) er e.t.v. hægt að staðhæfa að vindur, skíði og hjólbarðar séu bara samheiti yfir þennan kraft sem myndar öldur í efni við vissar aðstæður.

Ástæður sem kunna að liggja að baki því hversu óreglulegar öldudýpt og öldulengd eru á þvottabrettum, ólíkt því sem myndaðist í tilraun Taberlet (2007), liggja að öllum líkindum í tveimur þáttum: akstri og veðri. Bílunum er ekki ekið nákvæmlega eftir sama farvegi og í

sömu átt heldur um allan veginn og í báðar áttir. Veðrið er að sama skapi illútreiknanlegur þáttur í þessu samhengi og þyrfti í raun að skoða sér. Rakastig vegar skiptir máli upp á bindingu efnis í veginum (Fishman, 2009) og þurrkur hefur þau áhrif að úr honum fýkur fínefnið.

Samantekt á áhrifaþáttum leiðir í ljós að sumir þættir sem áður þóttu líklegar skýringar á þvottabrettismyndun skipta að öllum líkindum litlu sem engu máli. Þar á meðal eru: akstursstefna, stærð dekkja, sérstakur jarðvegur, vindur frá ökutækjum, útblástur, sláttur frá bílvélum og fjöðrun. Aðgreining og samþjöppun efnis er þáttur sem gæti skipt máli en þyrfti að kanna betur. Það sem þykir hins vegar ljóst er að þeim mun meiri þunga sem beitt er á efnið þeim mun dýpri verða öldurnar og styttra á milli þeirra. Hraði og ójöfnur skipta líka miklu máli og verða til þess að hrinda af stað öldumyndun. Samsetning jarðvegs og rétt kornadreifing virðast einnig skipta miklu máli sem og bindigeta slitlagsins.

Vel má finna fleiri hluti sem mætti skoða til að fá enn betri skilning á þvottabrettum á malarvegum. Sennilega yrði áhrifaríkast að líkja eftir aðstæðum með nákvæmari hætti og reyna að hafa stjórn á ytri áhrifum sem talið er að skipti sköpum. Vafinn virðist því liggja í þáttum á borð við samsetningu slitlagsins, veðri, akstri sem og aðgreiningu og samþjöppun efnisins.

Nemendur:

Leiðbeinandi:

Þorbjörg Sveinsdóttir

Haraldur Sigþórsson

Páll Gauti Pálsson

Heimildir

Ásbjörn Jóhannesson, Gunnar Bjarnason, Pétur Pétursson og Þórir Ingason (2004). *Fínefni í malarlitlög: Nokkrir grunneiginleikar steinefna og áhrif þeirra á gæði malarlitlaga - lokaskýrsla*. Skoðað 20. júní 2009 á vef Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands: http://www.nmi.is/files/BUSL_E44_370249902.pdf

Boggs, S. Jr. (2001). *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*. New Jersey: Prentice Hall.

Fishman, S. R. (2009). Ripples in the Road. Skoðað 18. júní 2009 á vef Technology Transfer Center: <http://www.t2.unh.edu/summer99/pg3.html>

Mbl.is (2009). *Vegurinn yfir Lyngdalsheiði eins og þvottabretti*. Skoðað 20. ágúst 2009 á vef Morgunblaðsins á slóðinni: http://mbl.is/mm/frettir/innlent/2009/08/09/vegurinn_yfir_lyngdalsheidi_eins_og_thvottabrett_i/

Michigan State University (2006). *Udden-Wentworth grain-size scale for siliclastic sediment*. Skoðað 6. ágúst 2009 á vef MSU á slóðinni: https://www.msu.edu/~tuckey1/education/PROMSE_06/Supplemental%20Material/Grain_Size_Translation_Figure.htm

Rozell, N. (1996). *Sleuthing the Source of Washboard Roads*. Skoðað 17. júlí 2009 á vef Alaska Science Forum, Geophysical Institute: <http://www.gi.alaska.edu/ScienceForum/ASF12/1291.html>

Taberlet, M., Morris, S. W. & McElwine, J. N. (2007). Washboard Road: The Dynamics of Granular Ripples Formed by Rolling Wheels. *Physical Review Letters*, PRL 99, 068003.

The Geological Society (2009). *By wind, Wales*. Skoðað 5. ágúst 2009 á vef The Geological Society: <http://www.geolsoc.org.uk/gsl/cache/offonce/education/rockcycle/pid/3707%3Bjsessionid=62345FB5CC8A5D6493488A5ECFEDE9B5>

Valkonen, A. (á.á). *Modeling gravel road deterioration*. Skoðað 6. ágúst 2009 á vef Vegagerðarinnar: [http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Valkonen/\\$file/Valkonen.pdf](http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Valkonen/$file/Valkonen.pdf)

Vegagerðin (2008a). *Skipting þjóðvega í vegflokka*. Skoðað 4. ágúst 2009 á vef Vegagerðarinnar: [http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Vegflokkar-Vegalengdir/\\$file/Vegflokkar.pdf](http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Vegflokkar-Vegalengdir/$file/Vegflokkar.pdf)

Vegagerðin (2008b). *Slitlög*. Skoðað 4. ágúst 2009 á vef Vegagerðarinnar: <http://www.vegagerdin.is/vegakerfid/slitlog/>

Vegagerðin (2009). *Umferð á þjóðvegum*. Skoðað 20. ágúst 2009 á vef Vegagerðarinnar: <http://www.vegagerdin.is/upplýsingar-og-utgafa/umferdin/umfthjodvegum/>

Welland, M. (2009a). *Rippled Roads – the granular physics of washboards*. Skoðað 15. júlí 2009 á Through the Sandglass: http://throughthesandglass.typepad.com/through_the_sandglass/2009/03/rippled-roads---the-granular-physics-of-washboards.html

Welland, M. (2009b). *Sand: The never ending story*. Berkeley: University of California Press.

Þórir Ingason (2002). *Hver er ástæðan fyrir því að þvottabretti myndast á malarvegum?*
Skoðað 10. júní 2009 á Vísindavef Háskóla Íslands:
<http://visindavefur.hi.is/svar.php?id=2086>

Heimildir sem ekki er vitnað í

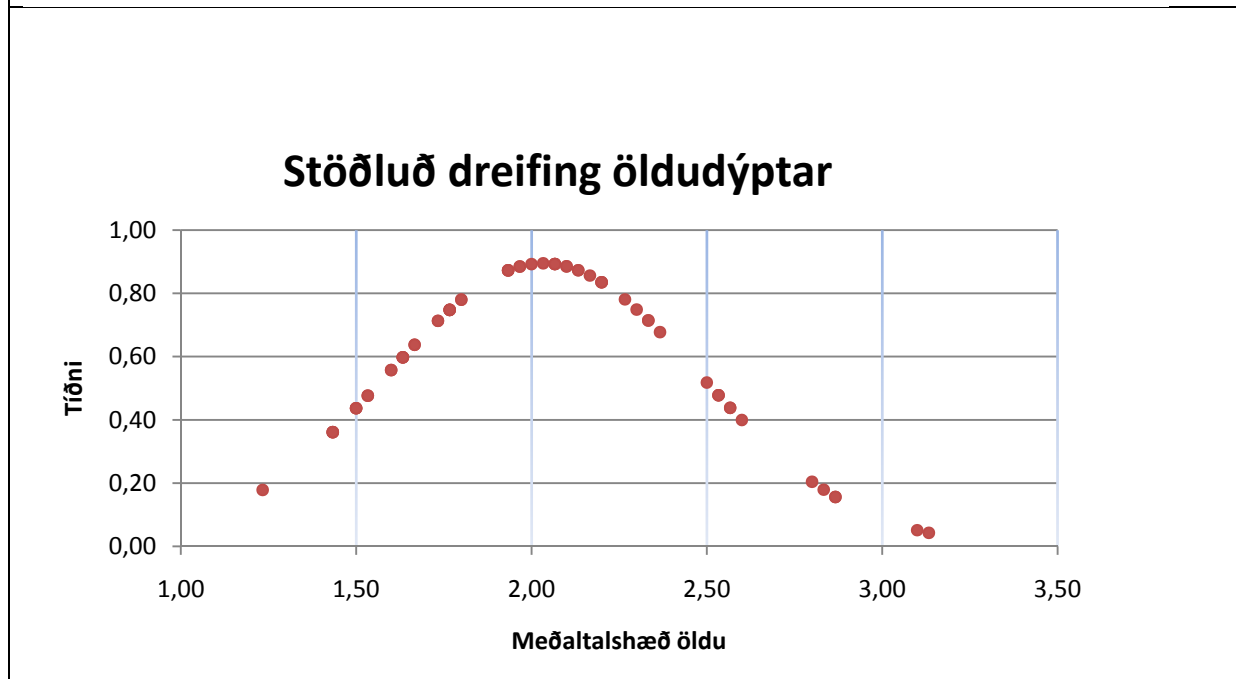
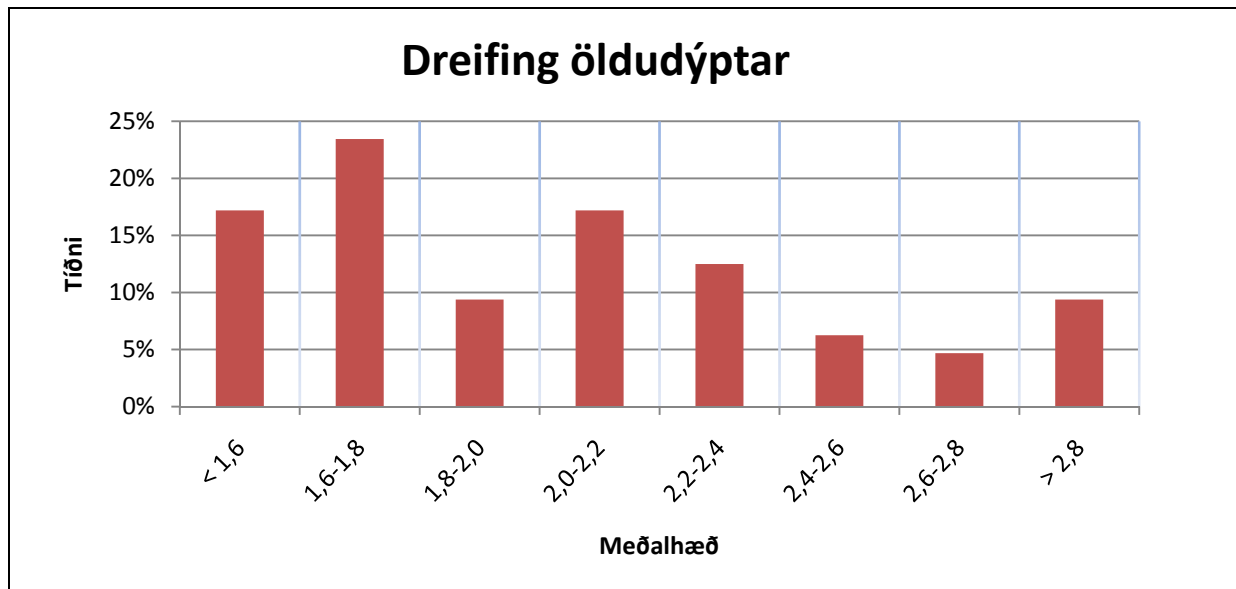
Alzubaidi, H. (2002). *On Rating of Gravel Roads*. Skoðað 10. ágúst 2009 á vef KTH Library:
<http://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?searchId=1&pid=diva2:9034>

Greenberg, G. (2008). *A Grain of Sand: Nature's secret wonder*. Minneapolis: Voyageur Press.

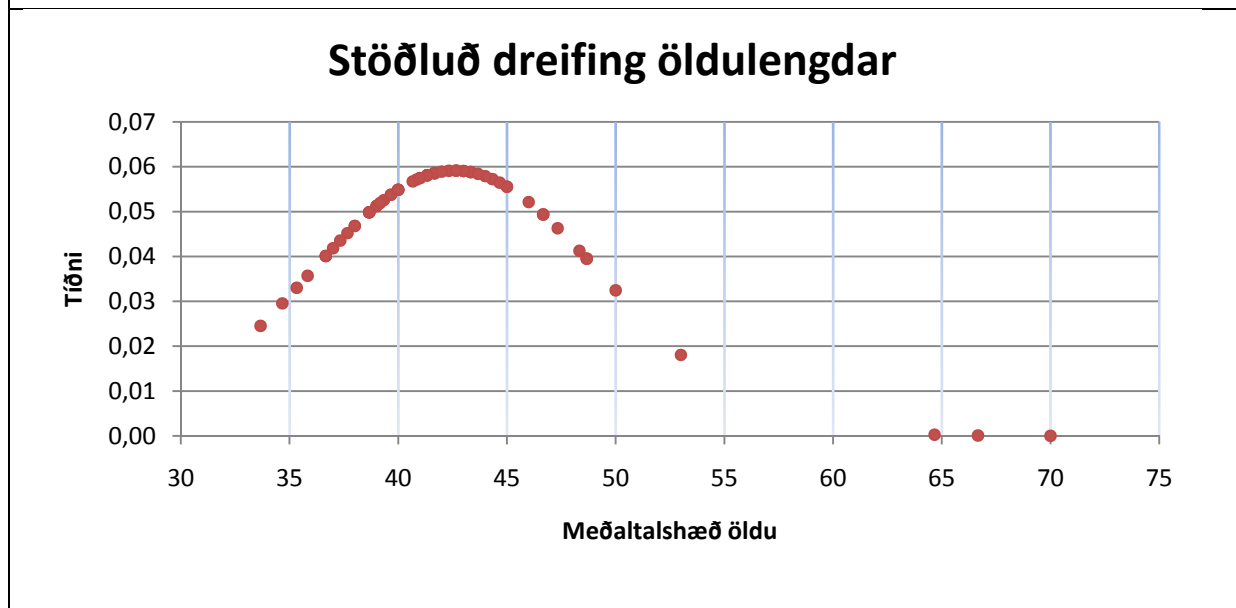
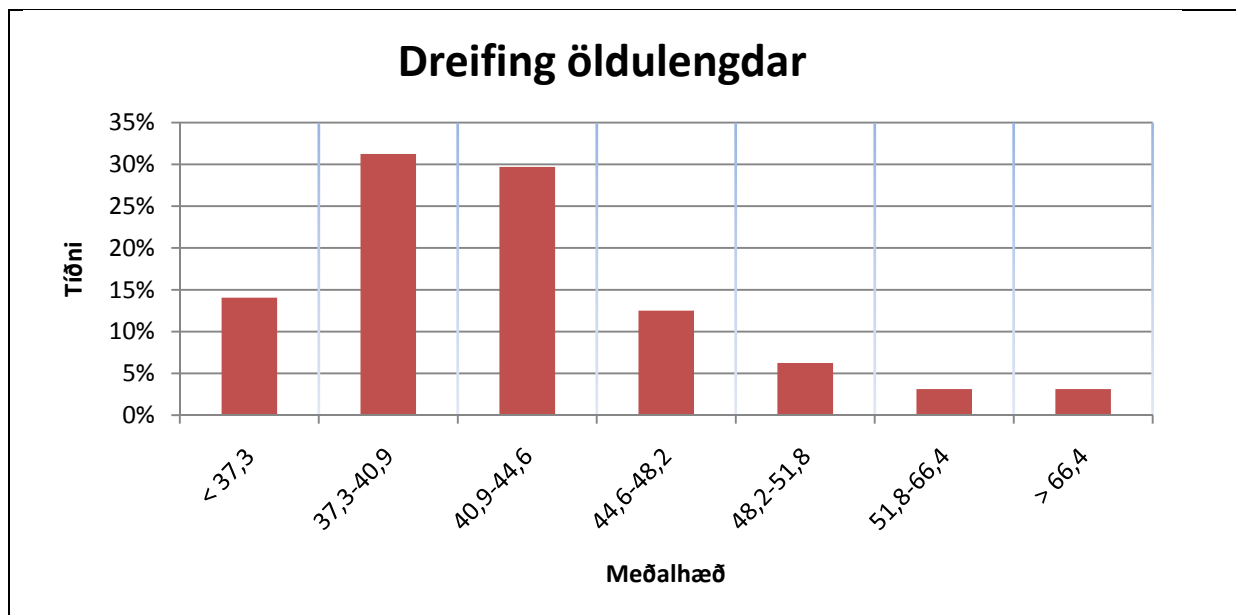
Henning, T. F. P., Giumarra, G. J. & Roux, D. C. (2008). *The development of gravel deterioration models for adoption in New Zealand gravel road management system*. Skoðað 11. ágúst á vef NZ Transport Agency: <http://www.ltsa.govt.nz/research/reports/348.pdf>

Plummer, C. C., McGeary, D. & Carlson, D. H. (2005). *Physical Geology*. New York: McGraw Hill.

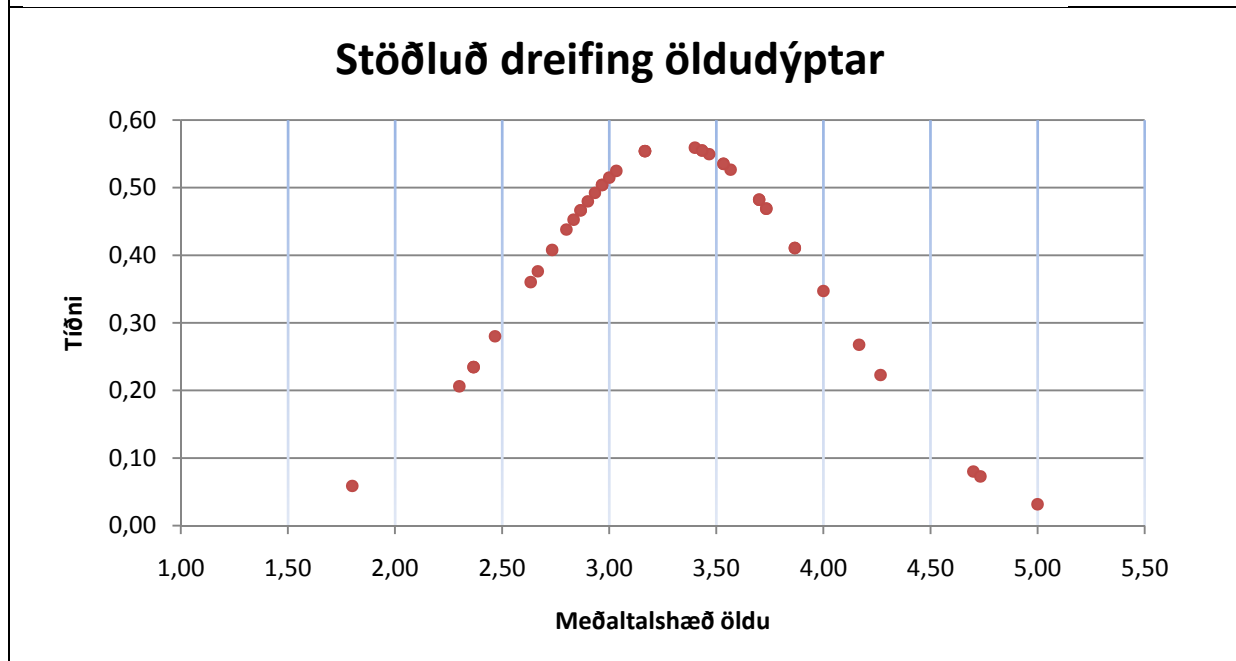
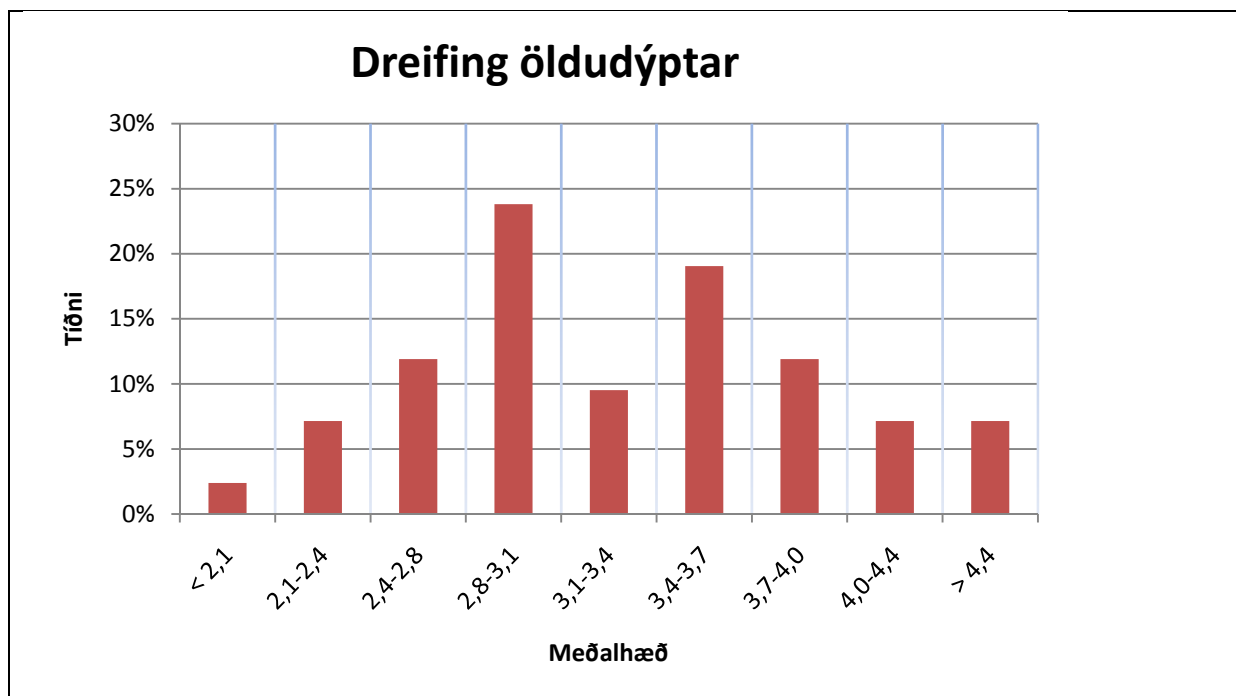
Suðurstrandarvegur (427) öldudýpt		Suðurstrandarvegur (427): Gerðar voru mælingar á 14,5 km kafla frá Krýsuvíkurvegi (42) að Ísólfskála. Vegurinn er láréttur að mestu en hefur ýmsar smávægilegar breytingar í langhalla og þverhalla. Þvottabretti náðu nánast yfir allan malarkaflan á veginum en mismikið. Stærðargráða aldanna var frá litlum upp í miðlungs stórar öldur. Meirihlutinn var á bilinu 3,03-3,65 mm. Vegur einkenndist af löngum láréttum köflum með þvottabrettum. Öldur dýpkuðu á þeim stöðum þar sem langhalla breyttist og þar sem bílar þurfa að hægja niður eða hraða á sér eins og t.d. við vegristar.
Fjöldi mælipunkta	64	
Max	3,13	
Min	1,23	
Staðalfrávik	0,45	
Meðaltal	2,03	



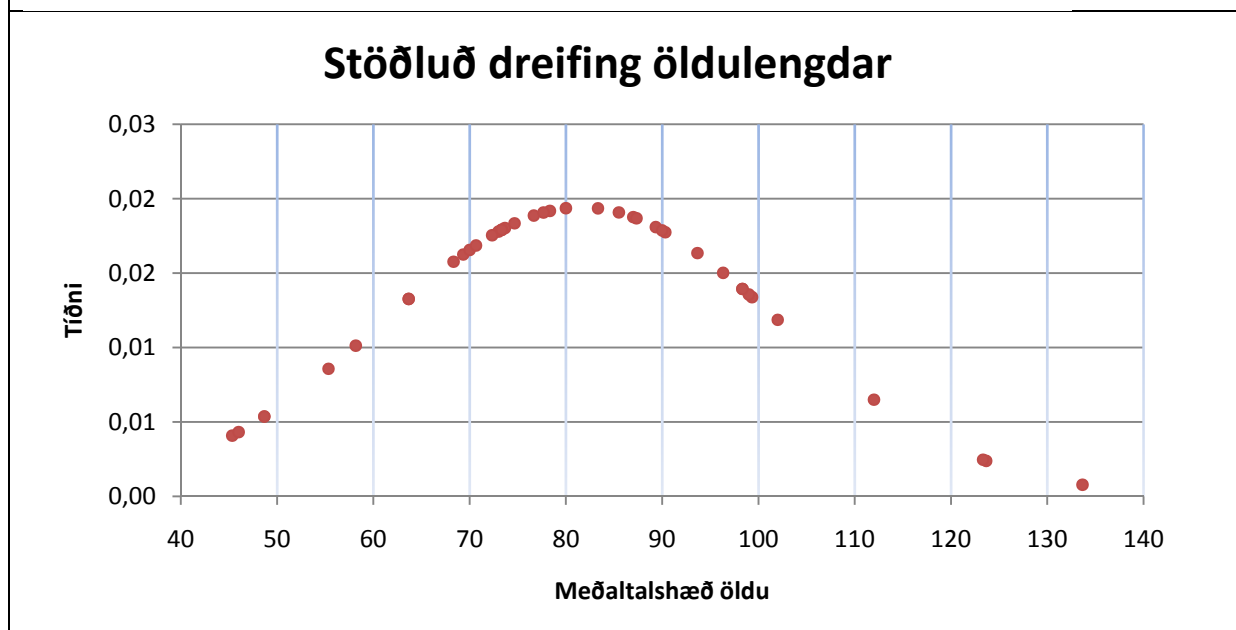
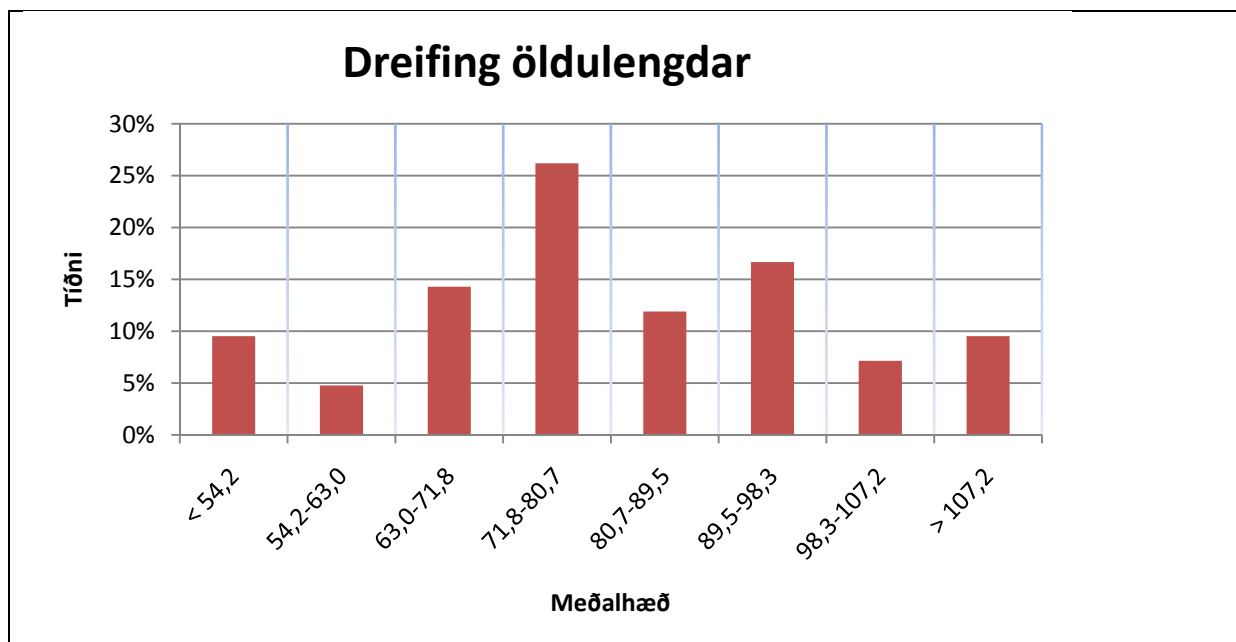
Suðurstrandarvegur (427)		Suðurstrandarvegur (427):
öldulengd		Umferðartölur 2008: ÁDU 54, SDU 117 og VDU 13.
Fjöldi mælipunkta	64	
Max	70,00	
Min	33,67	
Staðalfrávik	6,74	
Meðaltal	42,61	



<u>Uxahryggur (52) öldudýpt</u>		Uxahryggur (52):
Fjöldi mælipunkta	42	Vegurinn var í nokkuð góðu ástandi þar til komið var í 15% halla við Meyjarsæti og Ármannsfell, á þeim kafla var mikið og gróft þvottabretti frá lágboga upp hábogann. Þvottabrettið var það grófasta af öllum mælistöðum en féll þó ekki nema í miðflokk Fishman (2009).
Max	5,00	
Min	1,80	
Staðalfrávik	0,71	
Meðaltal	3,30	



<u>Uxahryggur (52) öldulengd</u>		Uxahryggur (52):
Fjöldi mælipunkta	42	Umferðartölur 2008: ÁDU 29, SDU 57 og VDU 10.
Max	133,67	
Min	45,33	
Staðalfrávik	20,54	
Meðaltal	81,60	

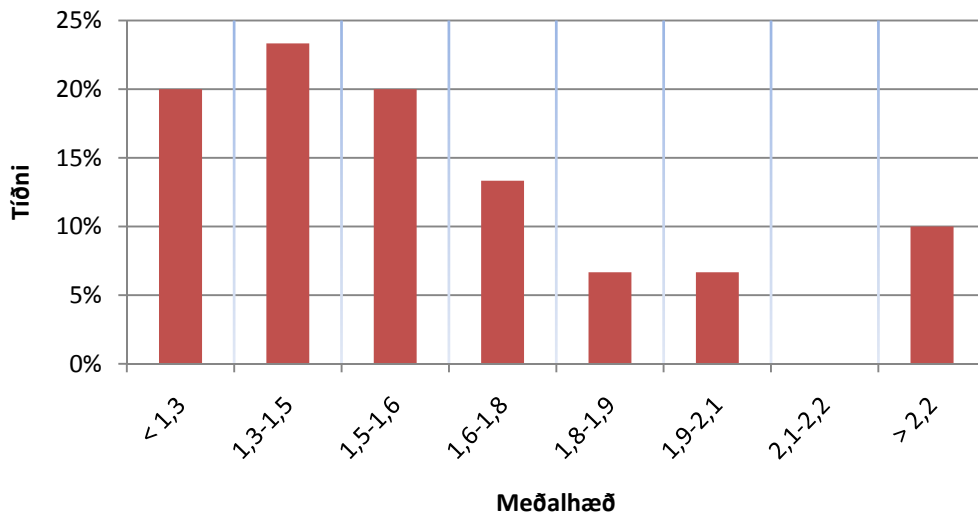
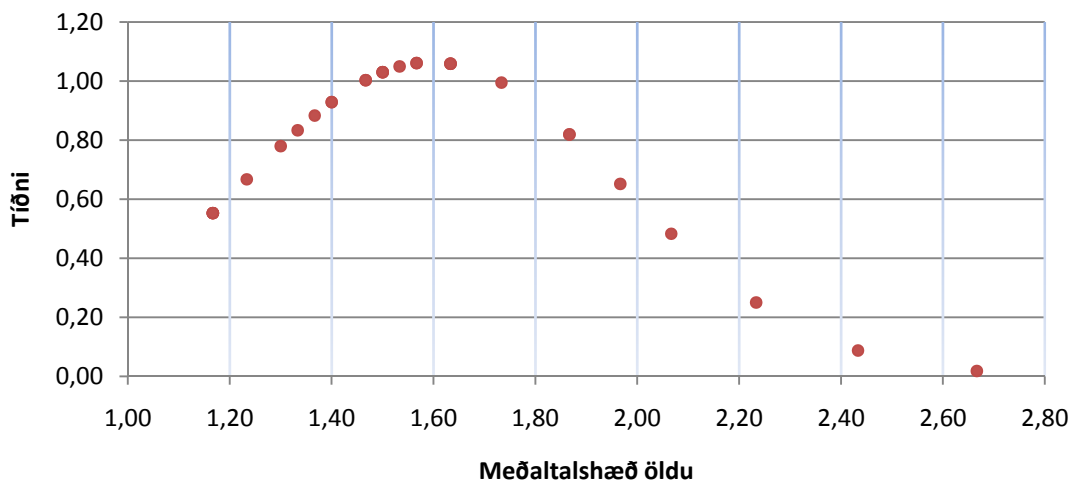


Geirlandsvegur (203) öldudýpt

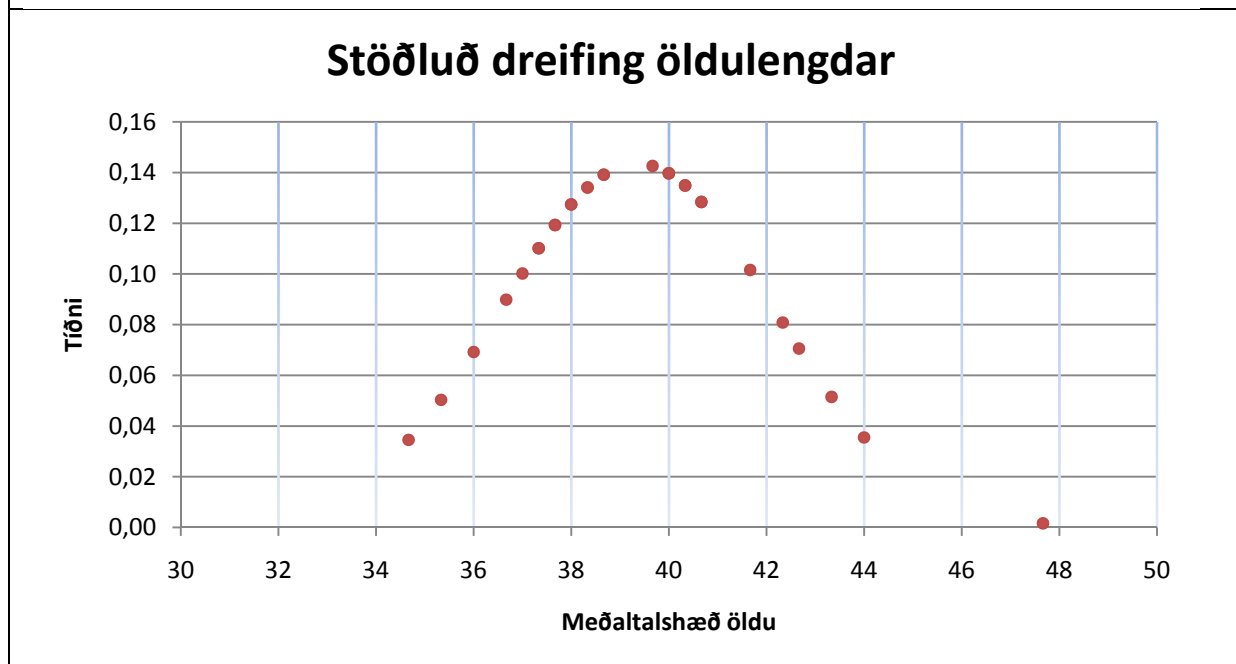
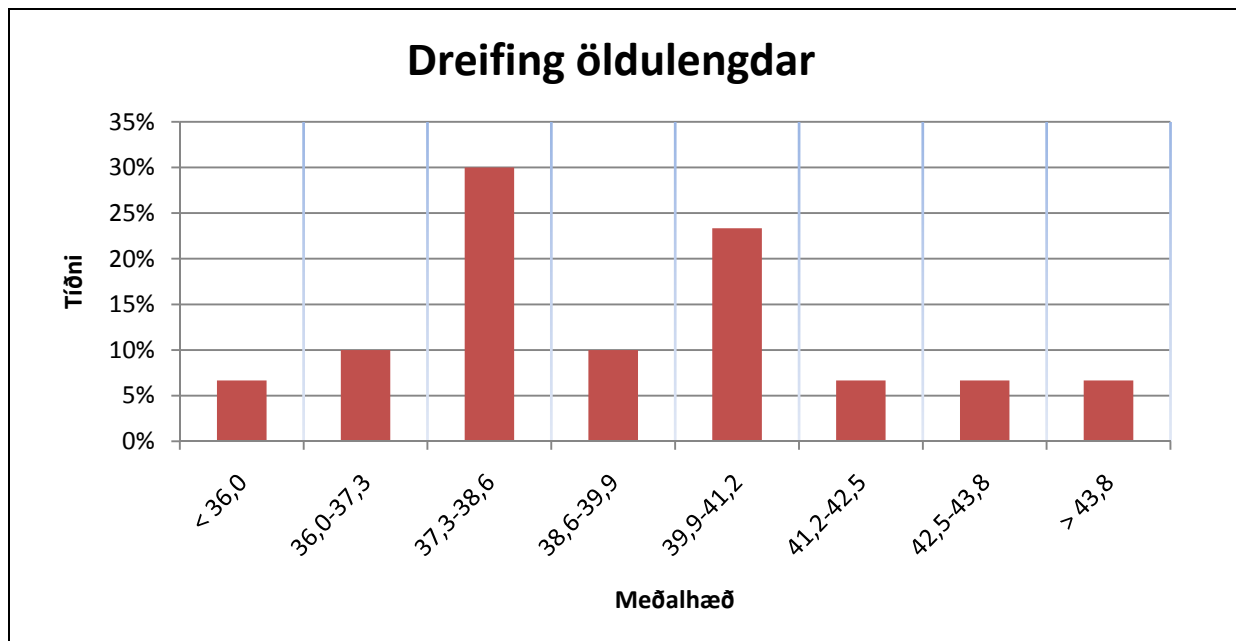
Fjöldi mælipunkta	30
Max	2,67
Min	1,17
Staðalfrávik	0,37
Meðaltal	1,60

Geirlandsvegur (203):

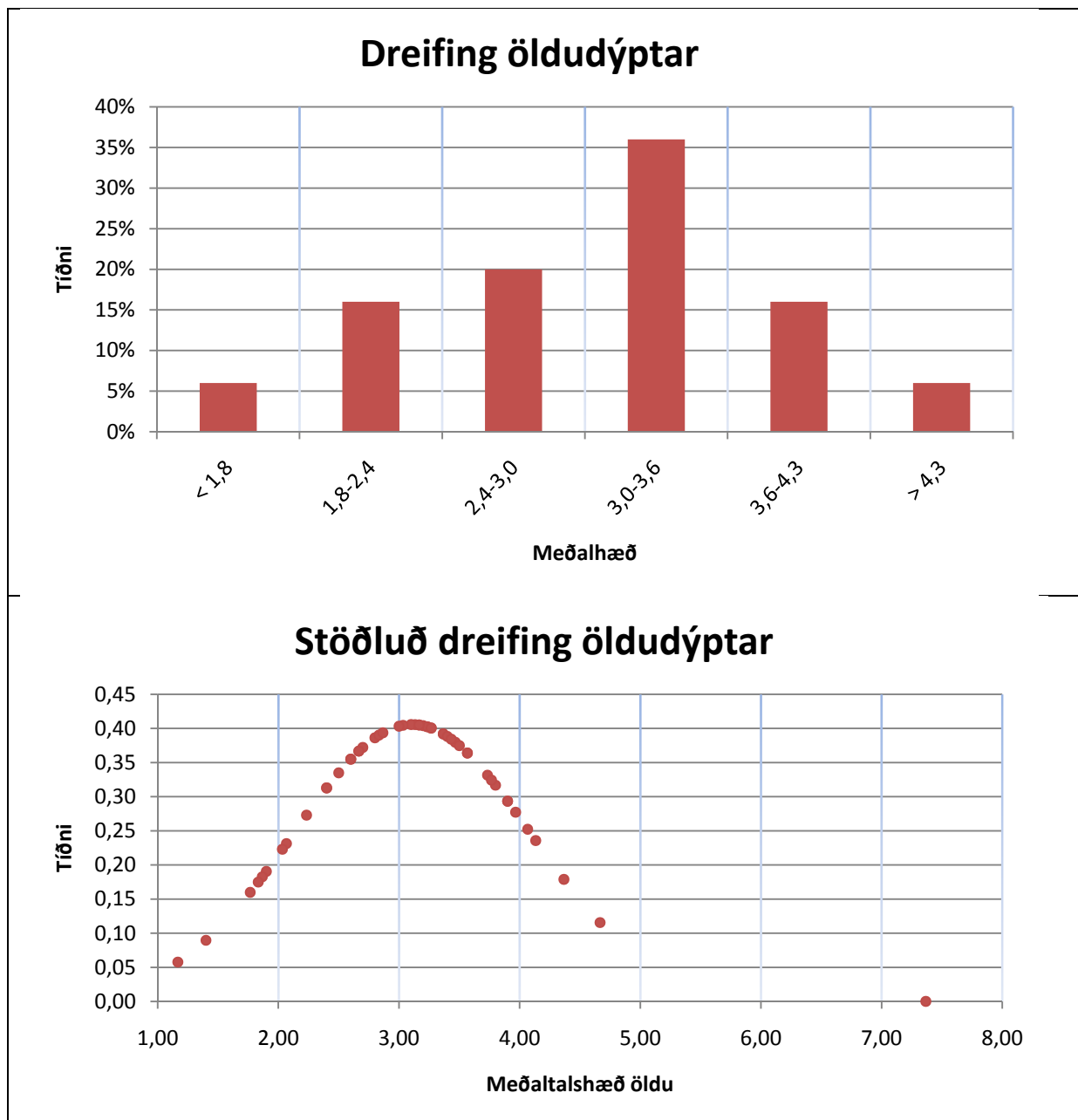
Geirlandsvegur liggur frá Kirkjubæjarklaustri að Geirlandi og er beinn og láréttur og yfir allan vegkaflann sem var mældur, 1,5 km að lengd, var þvottabrettið nokkuð jafnt. Öldurnar voru grunnar og stutt á milli öldutoppa.

Dreifing öldudýptar**Stöðluð dreifing öldudýptar**

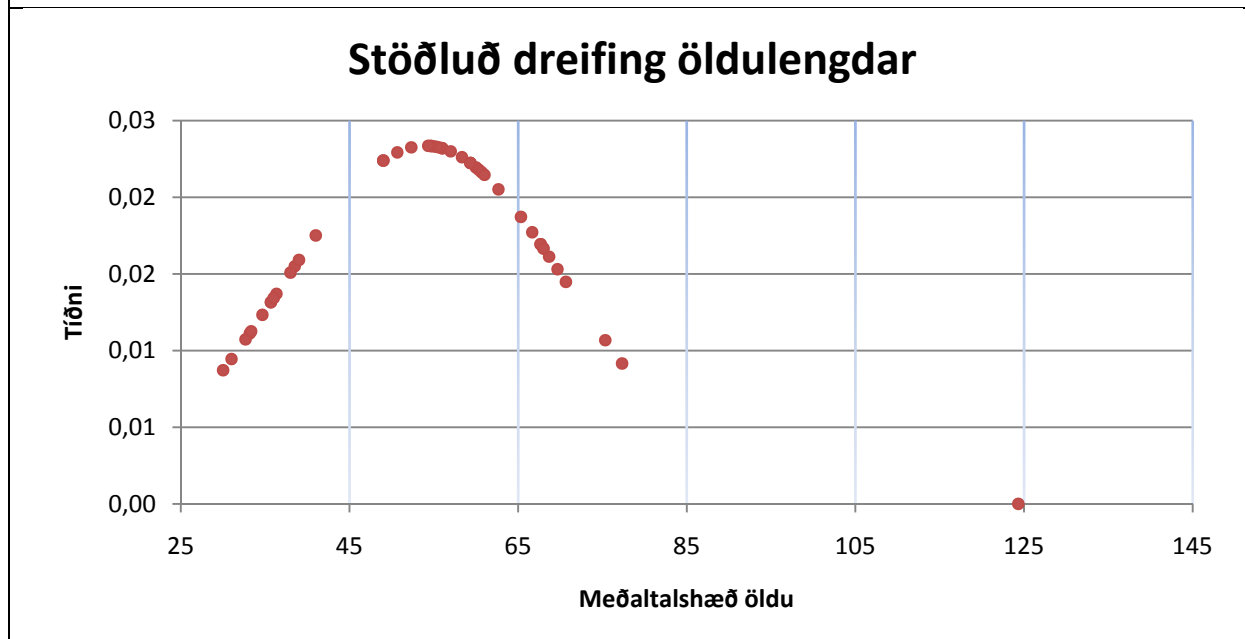
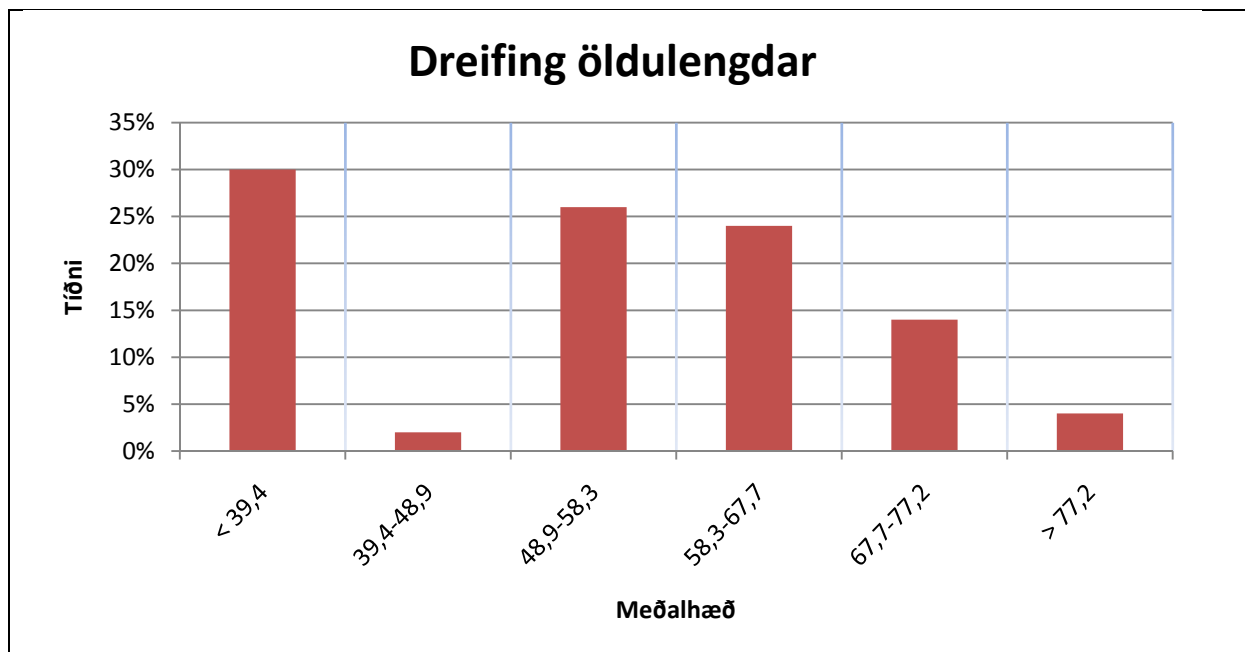
<u>Geirlandsvegur (203) öldulengd</u>		Geirlandsvegur (203):
Fjöldi mælipunkta	30	Umferðartölur 2008: ÁDU 32, SDU 48 og VDU 19.
Max	47,67	
Min	34,67	
Staðalfrávik	2,78	
Meðaltal	39,36	



<u>Hvaleyrarvatnsvegur (Hfj)</u> <u>öldudýpt</u>		Hvaleyrarvatnsvegur (Hfj): Kaflinn sem var mældur er frá hesthúsahverfinu og meðfram vatninu og liggur yfir hæð, í beygjur og er láréttur. Á veginum var að finna allar stærðir þvottabretta og það stærsta við beygju upp brekku.
Fjöldi mælipunkta	50	
Max	7,37	
Min	1,17	
Staðalfrávik	0,98	
Meðaltal	3,11	



<u>Hvaleyrarvatnsvegur (Hfj)</u> <u>öldulengd</u>		Hvaleyrarvatnsvegur (Hfj):
Fjöldi mælipunkta	50	Ekki eru til umferðartölur fyrir veginn.
Max	124,33	
Min	30,00	
Staðalfrávik	17,07	
Meðaltal	53,97	

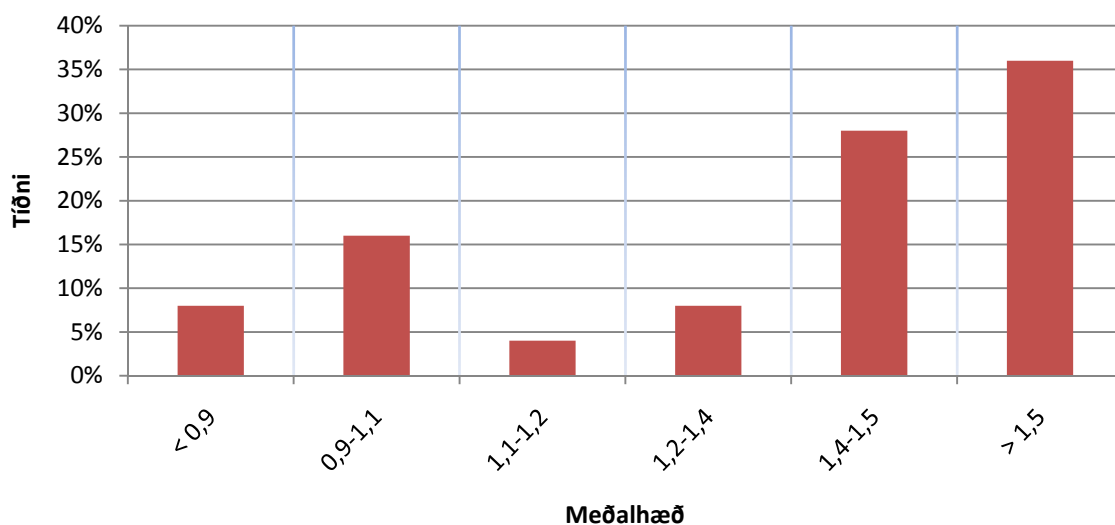
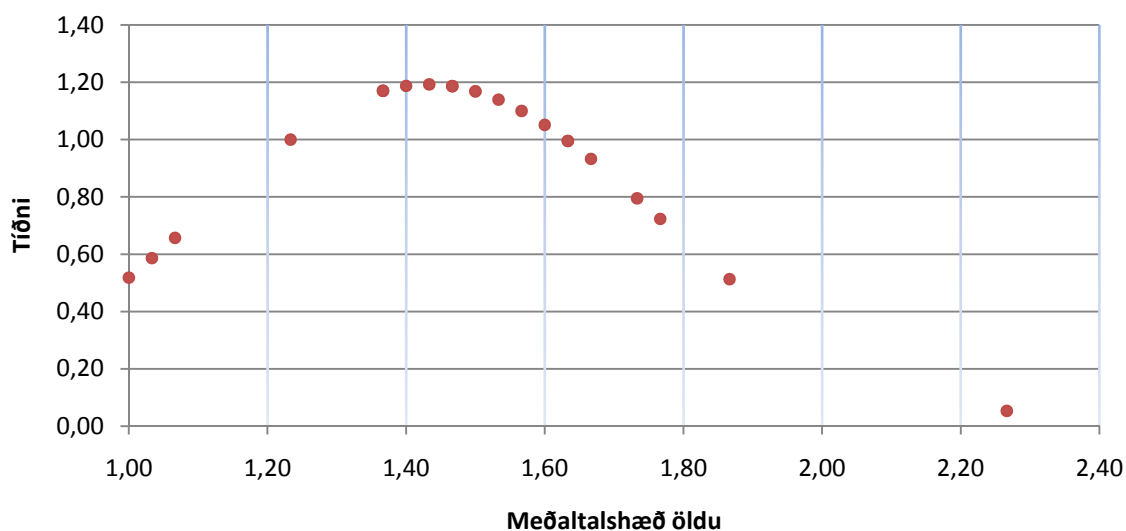


Lyngdalsheiði (365) öldudýpt

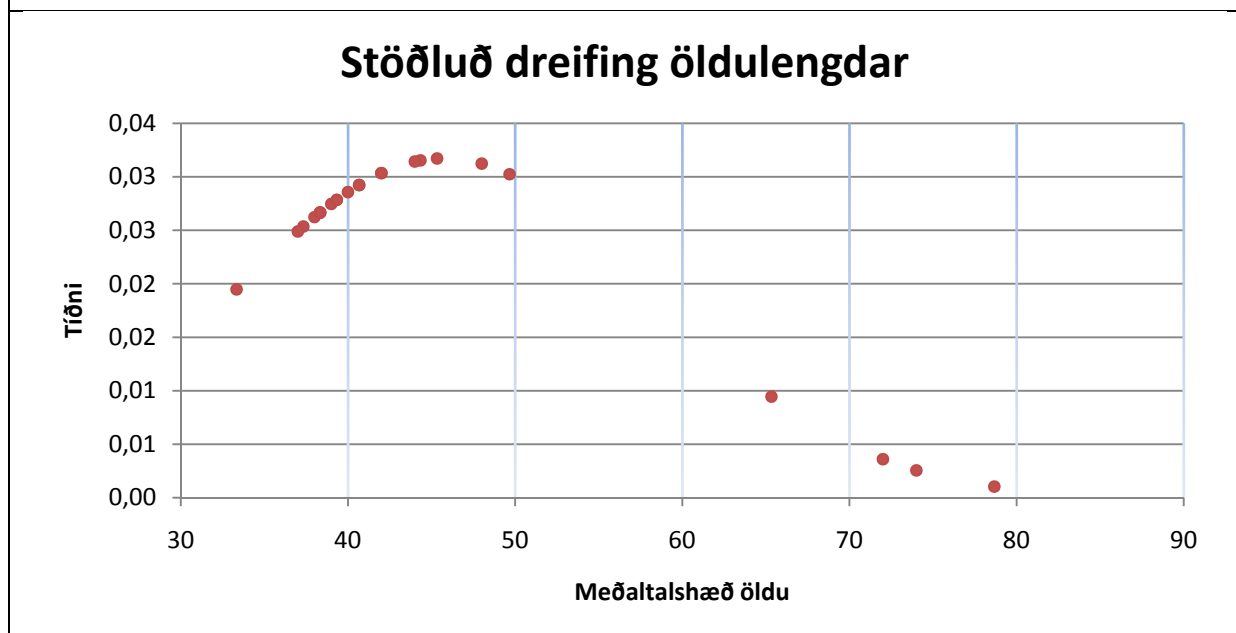
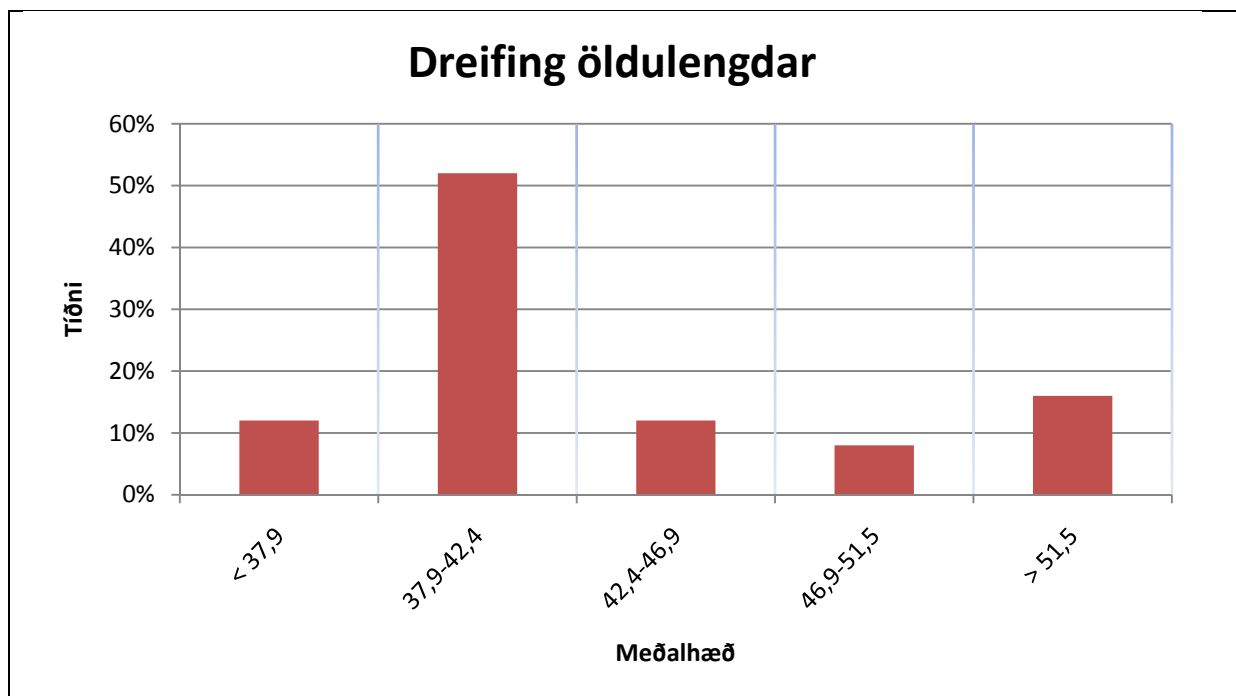
Fjöldi mælipunkta	25
Max	2,27
Min	0,80
Staðalfrávik	0,33
Meðaltal	1,43

Lyngdalsheiðarvegur (365):

Gerðar voru mælingar yfir helming vegarins. Miklar skemmdir voru á veginum, holur og vatn búið að ryðja sér farveg í gegnum veginn. Lítið var um þvottabretti þó svo að víðsvegar hafi verið lítil þvottabretti á stuttum köflum.

Dreifing öldudýptar**Stöðluð dreifing öldudýptar**

<u>Lyngdalsheiði (365) öldulengd</u>		Lyngdalsheiði (365):
Fjöldi mælipunkta	25	Umferðartölur 2008: ÁDU 277, SDU 631 og VDU 27.
Max	78,67	
Min	33,33	
Staðalfrávik	12,57	
Meðaltal	45,76	

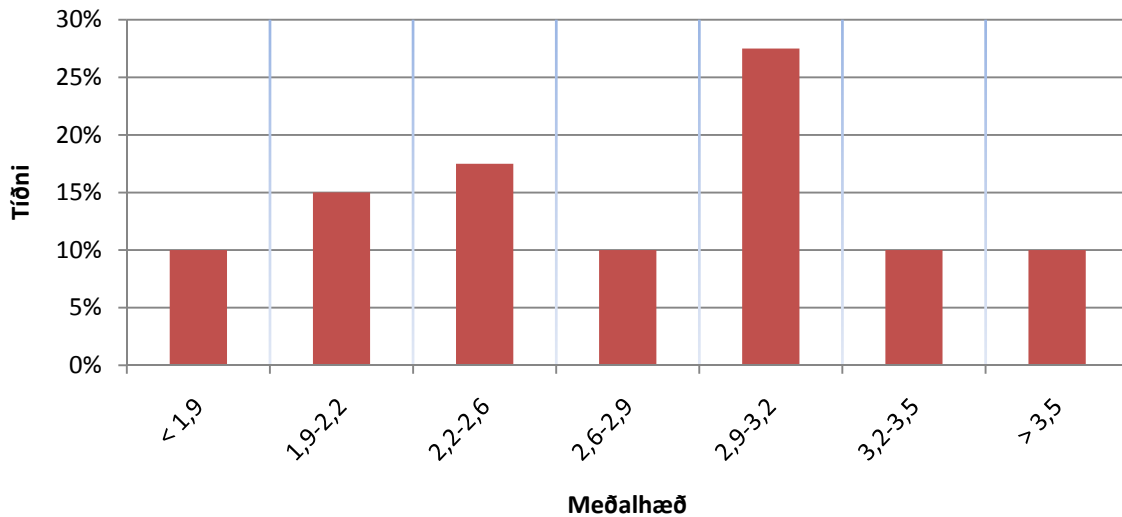
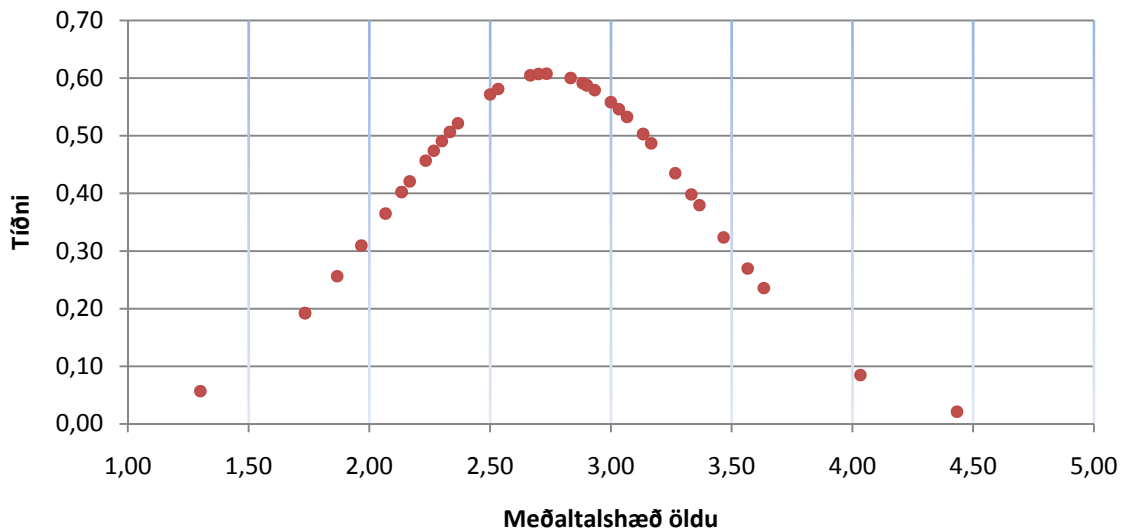


Kaldárselsvegur (Hfj) öldudýpt

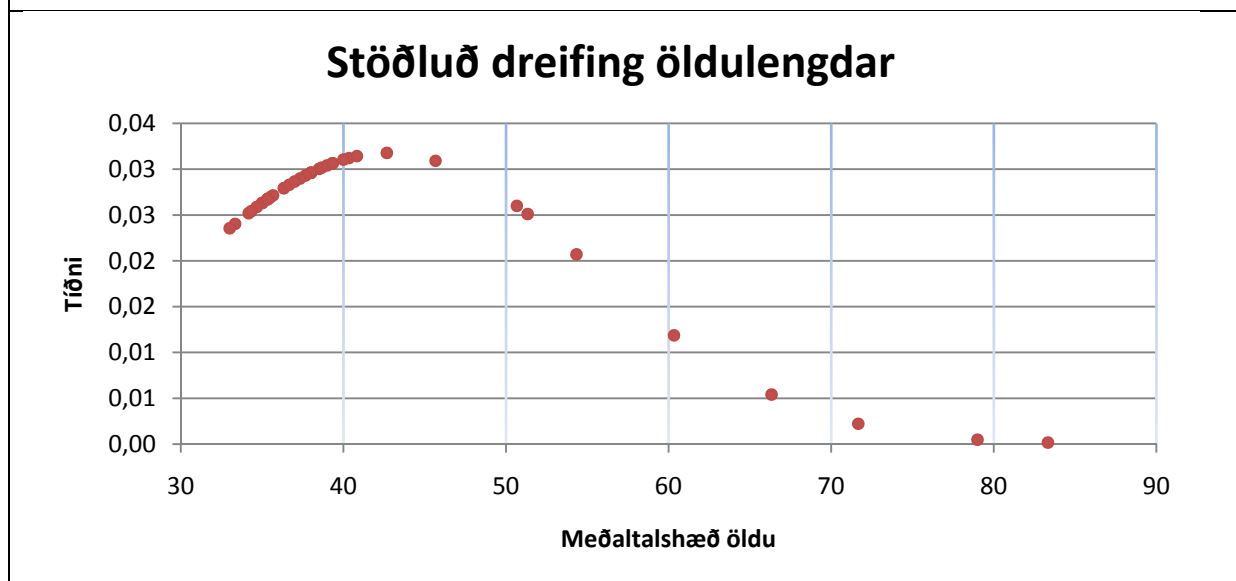
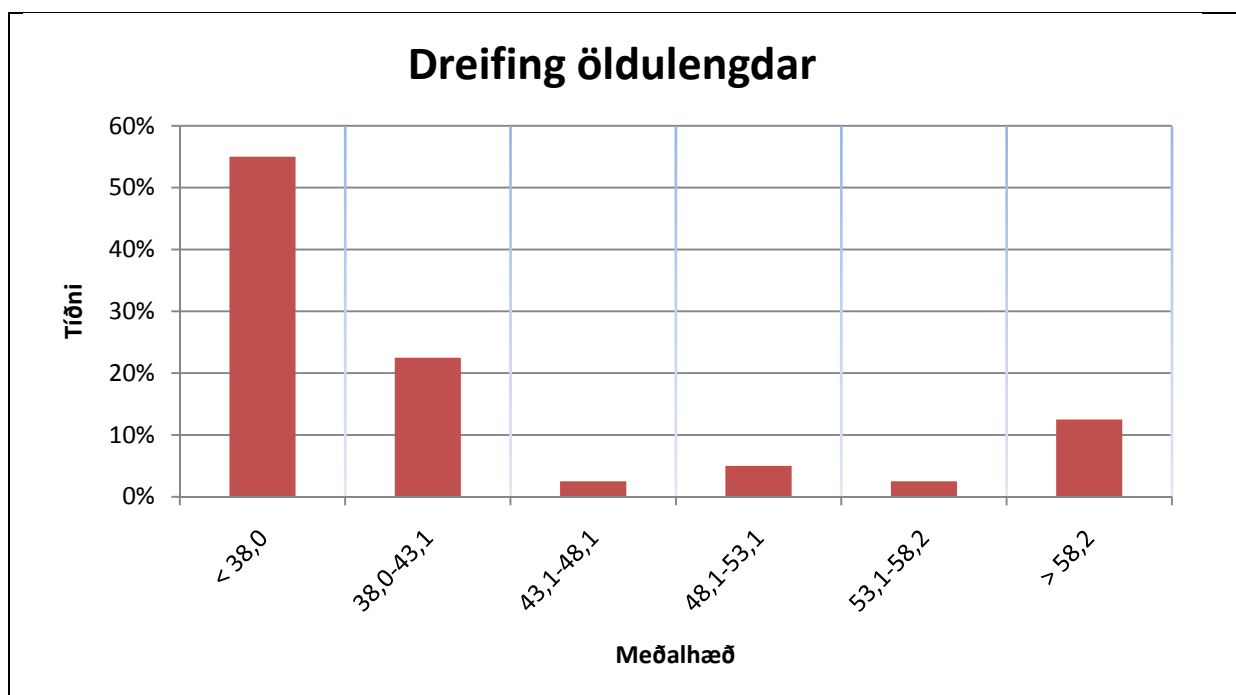
Fjöldi mælipunkta	40
Max	4,43
Min	1,30
Staðalfrávik	0,66
Meðaltal	2,73

Kaldárselsvegur (Hfj):

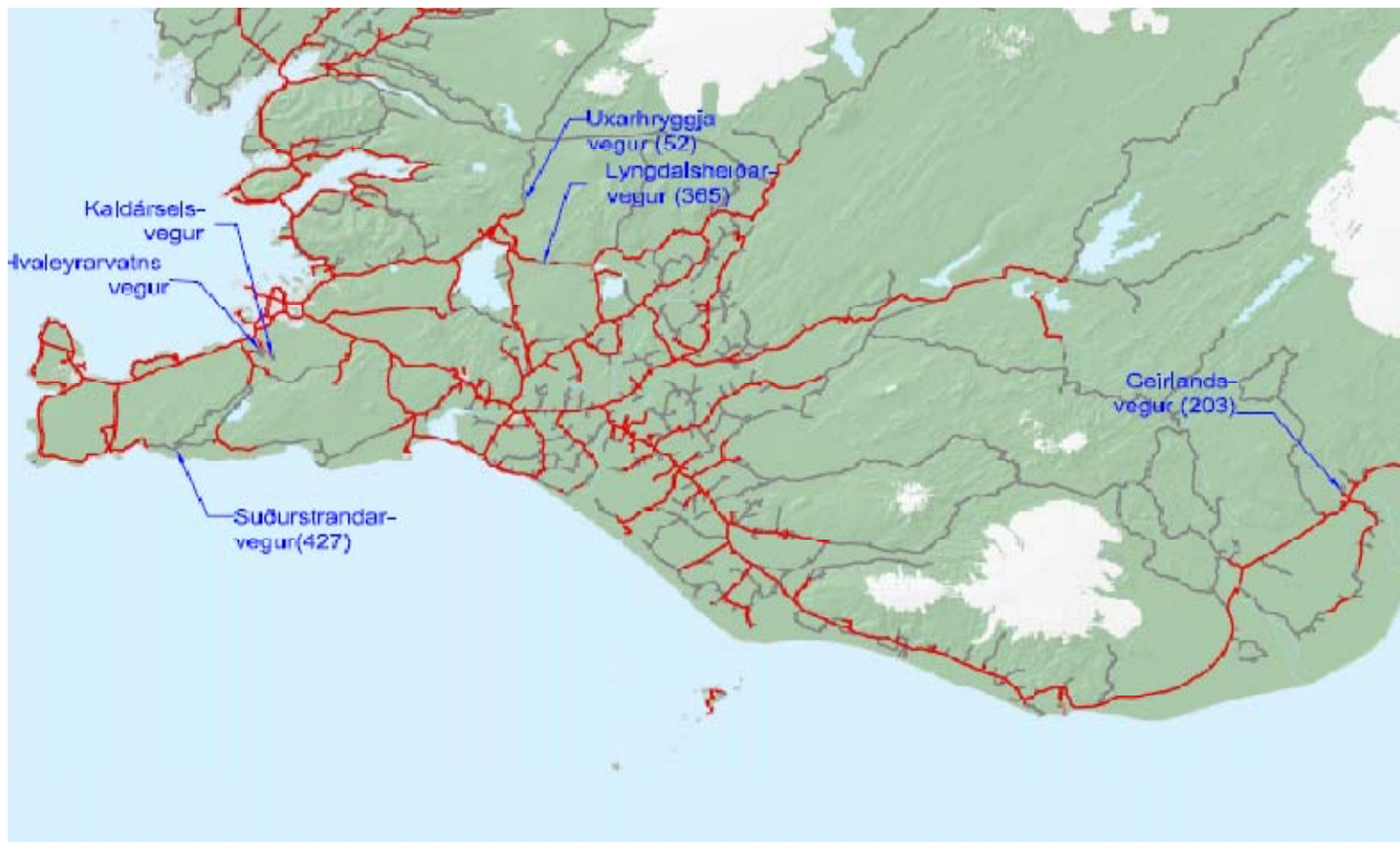
Kaldárselsvegur nær frá Hafnarfjarðarbæ að miklu útivistarsvæði sem er Kaldársel. Lengst af er vegurinn malbikaður en þó nokkur hluti er samt ennþá með malarslitlagi þar sem mikil þvottabretti voru farin að myndast. Vegur er beinn og láréttur með litlum sem engum þverhalla. Þvottabrettin voru mestmegnis nokkuð regluleg þó að hægt væri að sjá á sumum stöðum að önnur hver alda væri farin að jafnast út og myndast í stað dýpri og lengra á milli öldutoppa.

Dreifing öldudýptar**Stöðluð dreifing öldudýptar**

<u>Kaldárselsvegur (Hfj) öldulengd</u>		Kaldárselsvegur (Hfj):
Fjöldi mælipunkta	40	Ekki eru til umferðartölur fyrir veginn.
Max	83,33	
Min	33,00	
Staðalfrávik	12,55	
Meðaltal	42,72	



Mælistaðir á korti





RAÑSÓKNASTOFA
 Hvalvegur, Suðurlindaleið 10, 108 Reykjavík
 Sími 472 0000 - Fax 472 0007

Verkslagið

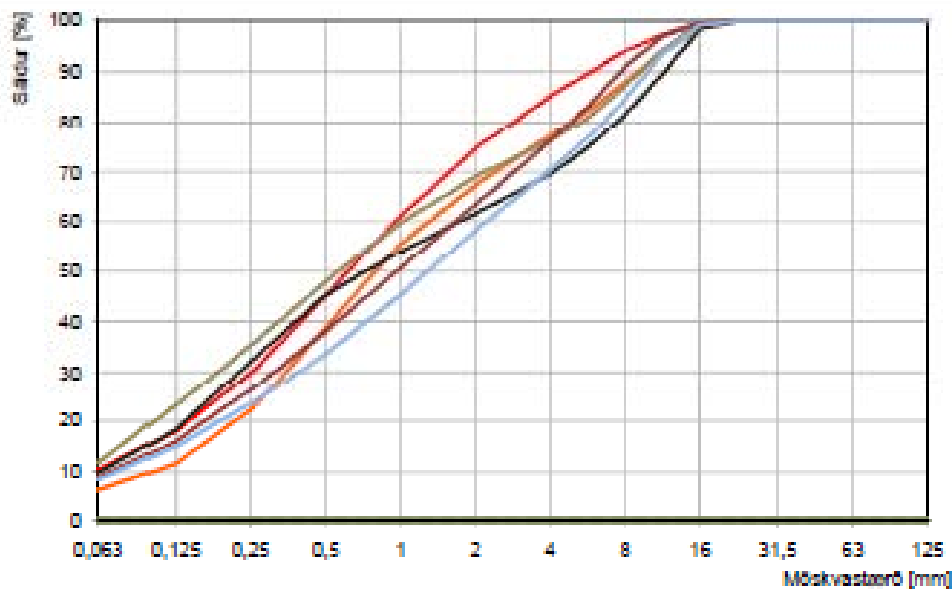
Verk nr.

Drögnafl. Ágei

18.8.2009

Tilfarir

Steinefni	Þvottabrettasýni						Þvottabretti	Daga prófunar								
Kornadreifing							Þvottabretti	30.7.2009								
Efnisgætnieikar	Húma- gr	Slám (%)	Methvæm W _L (%)	Korna rúmp. ρ _s (kg/m ³)	Kör (%)	Rakl (%)	Prófun. af BM	Slættistubill (R)								
	Rúmp. (þakk), þun [g/m ³]		Rúmp. (þakk), y.b.m. [g/m ³]	Höfnými (%)	Finnebl < 0,005 mm (%)	10,0 10,5	Yfirburt [m/kg]									
Kornadreifing																
Móskvæðni (mm)	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000	
Suðumtröndun, Bl. 1.	[%]	11	18	30	45	61	73	85	90	94	97	99	100	100	100	100
Suðumtröndun, Bl. 2.	[%]	7	13	22	39	58	67	77	82	85	88	89	90	90	90	90
Útskýrð	[%]	10	18	32	48	64	82	70	78	82	88	90	90	90	90	90
Hvalvegurvatnavegur	[%]	12	23	35	48	60	69	78	81	87	84	88	88	88	88	88
Lyngdalshelsti	[%]	8	16	28	40	51	64	76	83	87	87	88	88	88	88	88
Kaldárshvegur	[%]	8	15	24	34	45	57	70	77	80	84	86	86	86	86	86



Markalinnur í: Englin markalinnur
 Markalinnur í: Englin markalinnur

Athugasemdir:

D10	-	D50	0,6	Flóttum skv. U.S.C.S - Kerflinn:	
D15	0,09	D60	0,9	Gróflekabla $C_u = D_{60}/D_{10} =$	#VALUE!
D30	0,25	D85	3,9	Kornadreifingastubill $C_w = D_{85}^2/(D_{10} \cdot D_{10}) =$	#VALUE!

Þessi vefur er til að veita upplýsingar um vinnuástandið og tilfarir til þess að tryggja gættu og hvarfing.

Komandi innslit og eftirlit er á vinnuástandi.
 18.8.2009-14:08