



Fjölmatíðnigreining á yfirborðsbylgjum

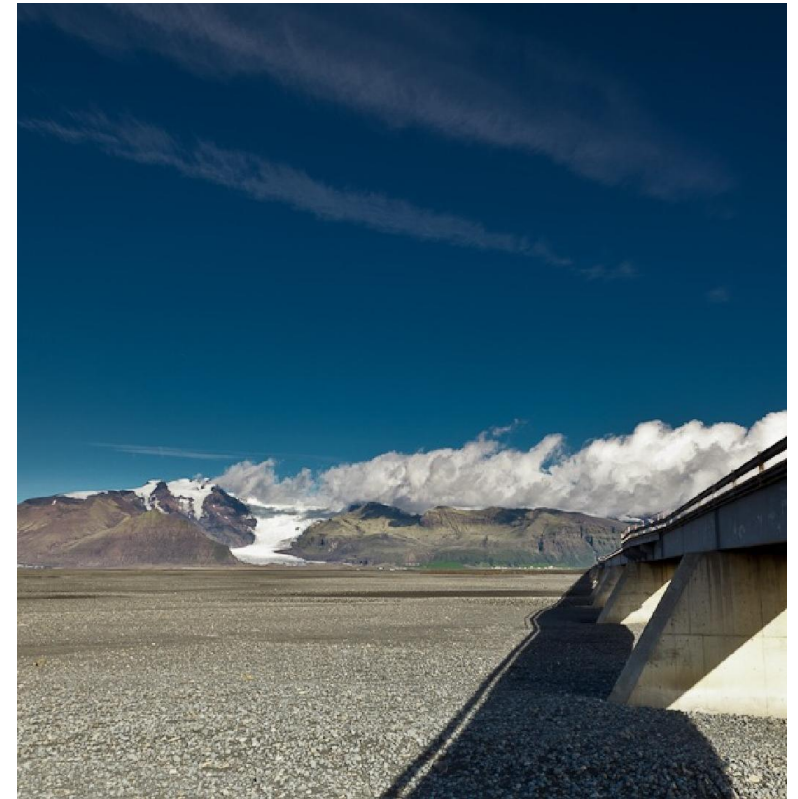
Elín Ásta Ólafsdóttir (HÍ)





Bakgrunnur

- Á Íslandi eru víða þykk laus setlög, mynduð vegna framburðar, eldgosa og foks.
- Jarðvegsfyllingar eru einnig mikið notaðar í mannvirkjagerð.
- Þekking á eiginleikum setlaga/fyllinga, s.s. stífni, styrk, þjöppunarstigi, hegðun í jarðskjálftum ($V_{s,30}$, ysjun), nauðsynleg við hönnun mannvirkja.





Yfirborðsbylgjuaðferðir

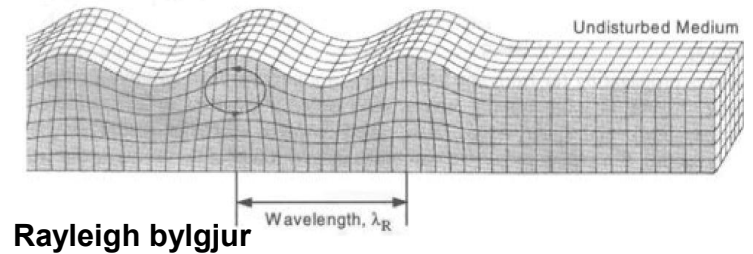
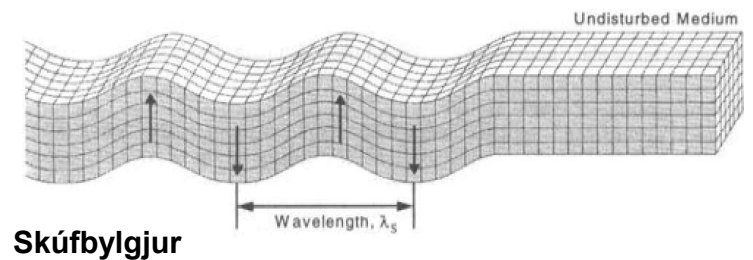
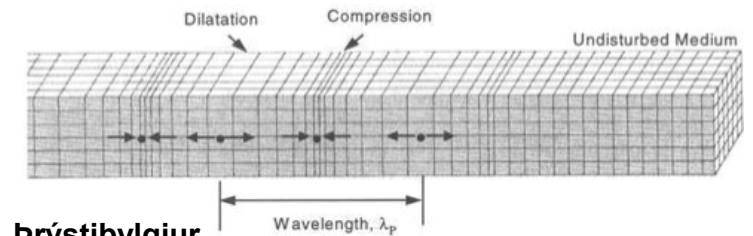
- Stífnir jarðlaga má ákvarða með ýmsum aðferðum:
 - Borholuaðferðir (*down-hole/cross-hole seismic surveys*).
 - SPT/CPT (*standard/cone penetration tests*).
 - **Yfirborðsbylgjuaðferðir** (*surface wave analysis methods*).
 - Yfirborðsbylgjur eru framkallaðar með höggi og útbreiðsla þeirra mæld.
 - Aðferðafræðin byggir á því að nýta tvístrunareiginleika bylgnanna í lagskiptum jarðvegi og tengsl milli útbreiðsluhraða þeirra og fjarðureiginleika jarðvegs.
 - Kostir: Ódýrar, umhverfisvænar (valda ekki skemmdum á yfirborði prófunarstaðar og krefjast ekki þungs vélbúnaðar).





Bylgjur í jarðefnum

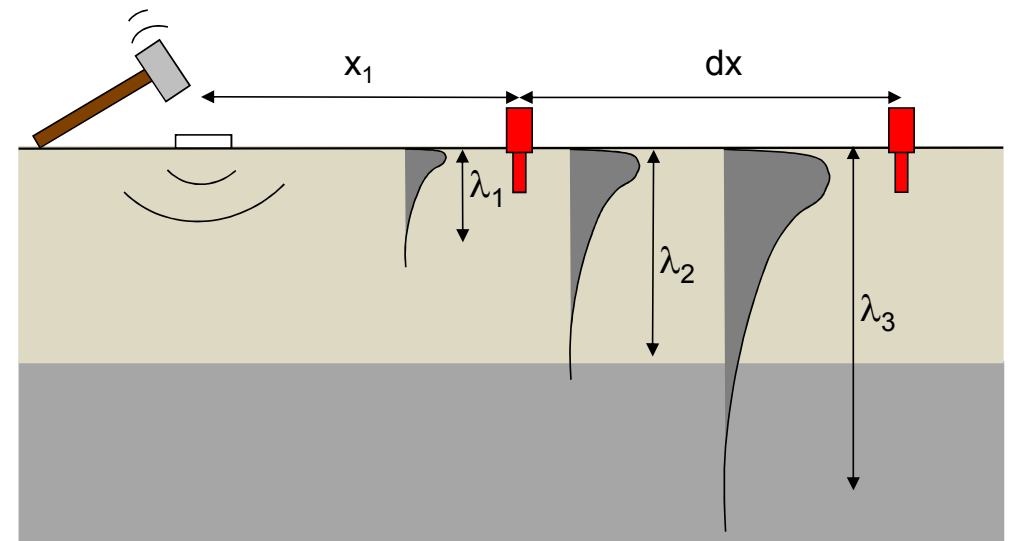
- Bylgjum í jarðefnum má skipta í tvær megingerðir; rúmbylgjur og yfirborðsbylgjur.
 - Rúmbylgjur greinast í þrýstibylgjur (P-bylgjur) og skúfbylgjur (S-bylgjur).
 - Tvær megingerðir yfirborðsbylgna eru Rayleigh bylgjur og Love bylgjur.





Yfirborðsbylgjur

- Rayleigh bylgjur tvístrast (*dispersive*) í lagskiptum jarðvegi.
- Bylgjur með mismunandi bylgjulengd (og mismunandi tíðni) ferðast með mismunandi hraða.
- Útbreiðsluhraði þeirra er háður stífni og eðlismassa jarðlaganna sem þær örva.





Útbreiðsluhraði bylgna

- Tengsl eru milli skúfbylgjuhraða (V_S) og hraða Rayleigh bylgna (V_R).

$$V_S \approx \frac{1+\nu}{0,87+1,12\nu} V_R \quad V_S \approx 1,08V_R \text{ ef } \nu \approx 0,3$$

- Útbreiðsluhraða skúfbylgna (V_S) má tengja við fjaðureiginleika jarðvegs; skúfstuðul (G) og fjaðurstuðul (E).

$$G_{\max} = \rho V_S^2$$

$$E_{\max} = 2G_{\max} (1+\nu) = 2\rho V_S^2 (1+\nu)$$





Yfirborðsbylgjuaðferðir

- Rayleighbylgjuhraði ákvarðaður sem fall af bylgjulengd.
- Rayleighbylgjuhraði notaður til að ákvarða skúfbylgjuhraða sem fall af dýpi.
- Skúfbylgjuhraði notaður, ásamt eðlismassa jarðvegs, til að ákvarða skúfstuðul jarðlaganna á hverjum stað.





Yfirborðsbylgjuaðferðir

- Tveimur afbrigðum einkum beitt:
 - **SASW** (*Spectral Analysis of Surface Waves*)
 - Mælingar framkvæmdar með 2-10 hraðanemum. Gögn frá tveimur nemum notuð í senn við úrvinnslu.
 - Hefur verið beitt á mörgum stöðum hér á landi á undanförunum árum.
 - Niðurstöður SASW-mælinga á Íslandi vistaðar á vefsíðinni: www.hi.is/~bb/sasw
 - **MASW** (*Multichannel Analysis of Surface Waves*)
 - Mælingar framkvæmdar með 24+ hraðanemum. Gögn frá öllum nemum notuð samtímis.
 - Hefur verið prófuð með góðum árangri á nokkrum stöðum á Suðurlandi sumarið 2013 og sumarið 2014.





Yfirborðsbylgjumælingar

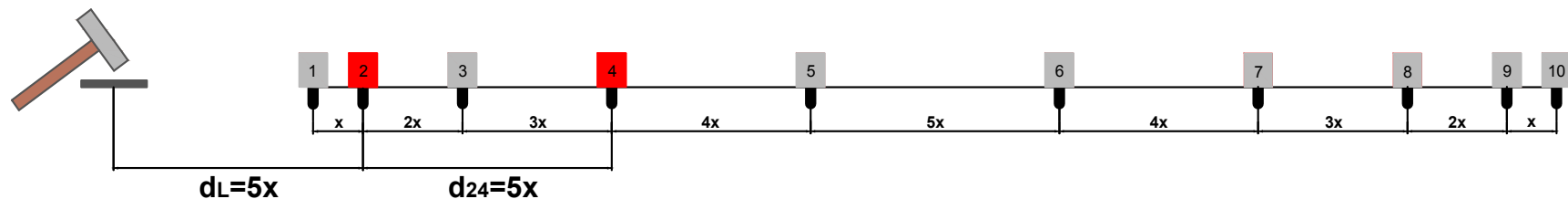
- Þrjú meginskref sameiginleg með báðum aðferðum:
 1. Mælingar á vettvangi.
 2. Ákvörðun tvístrunarferils fyrir mæligögn.
 3. Ákvörðun á skúfbylgjuhraða sem fall af dýpi. (Bakreikningar.)





SASW yfirborðsbylgjuaðferðin

- Yfirborðsbylgjur framkallaðar með höggi (t.d. sleggju/hoppi).
- Útbreiðsluhraði bylgjanna mældur með hraðanemum sem komið er fyrir í beinni línu á yfirborði.
- Unnið er með gögn frá tveimur hraðanemum í einu.
- Framkvæma þarf margar mælingar á vettvangi til að tryggja að gögn spanni nægjanlega breitt tíðnibil.





MASW yfirborðsbylgjuaðferðin

- Fyrst kynnt árið 1999.
- Byggir á SASW yfirborðsbylgjuaðferðinni.
- Helstu kostir MASW umfram SASW:
 - Ekki þörf á endurteknum mælingum á vettvangi.
 - Unnið úr mæligögnum frá öllum hraðanemum samtímis.
 - Úrvinnsluaðferðir „sjálfvirkar“.
 - Aukinn áreiðanleiki niðurstaðna (hærra signal/noise hlutfall).
 - Möguleikar á að greina jarðvegseiginleika á auknu dýpi.
 - Möguleikar á að greina jarðvegseiginleika í tveimur (og þremur) víddum á hagkvæman hátt.

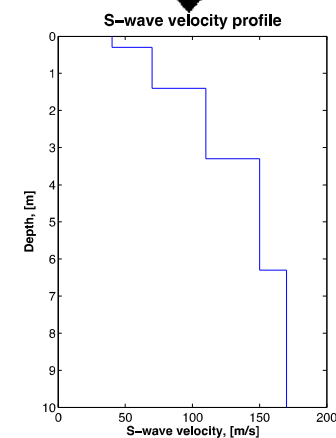
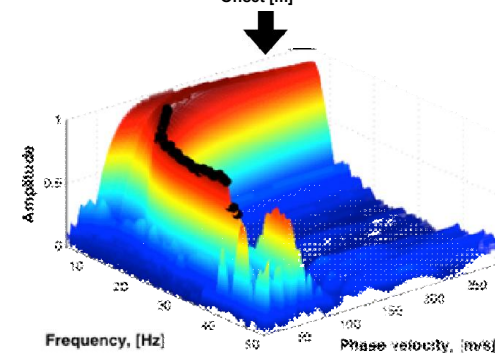
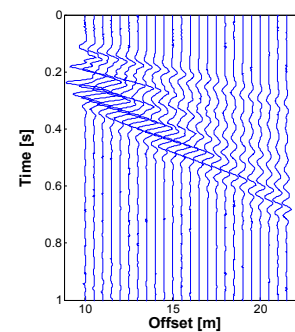




1. Mælingar á vettvangi

2. Ákvörðun tvístrunarferils fyrir mæligögn.

3. Ákvörðun á skúfbylguhraða sem fall af dýpi.

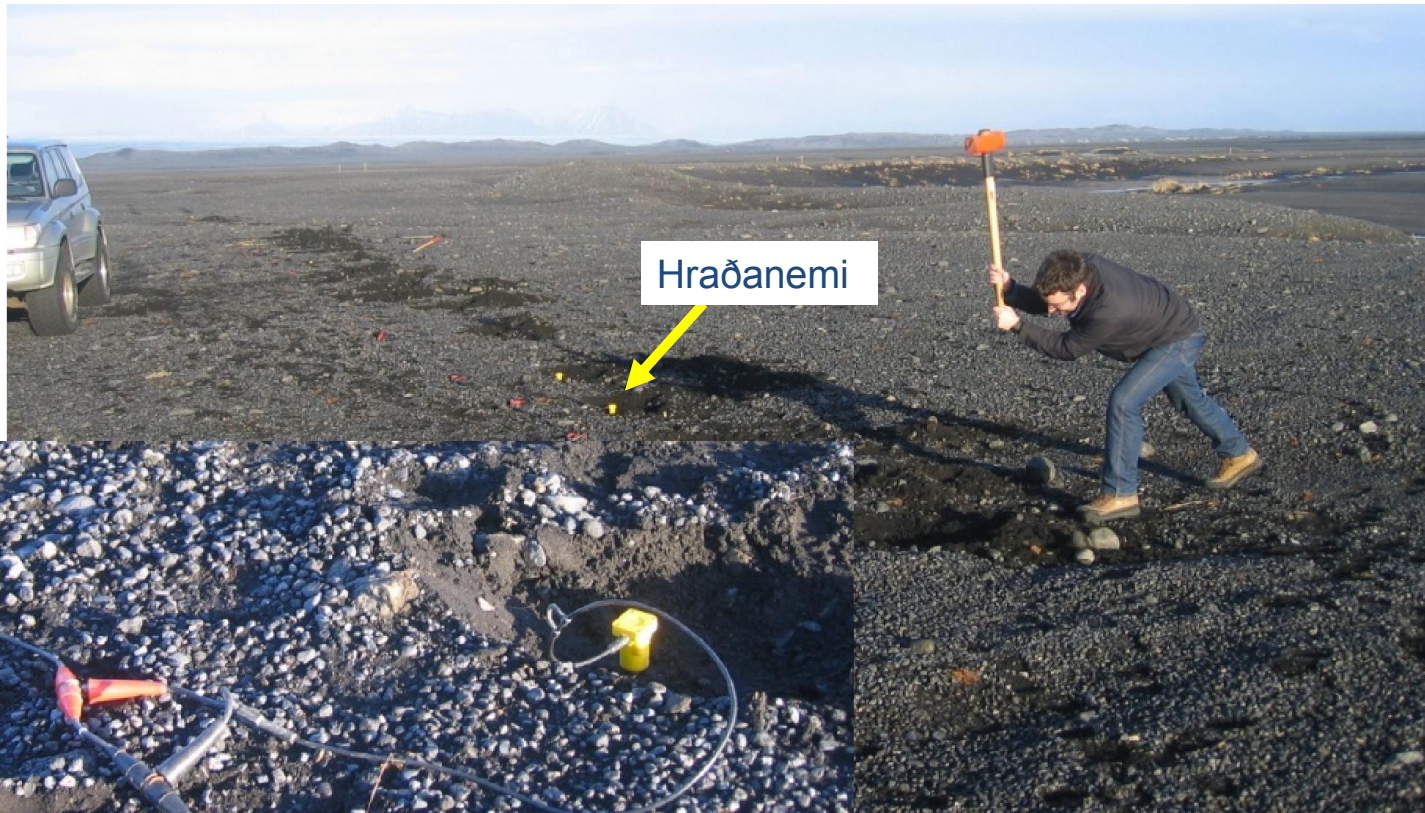




Mælingar á vettvangi

- Útbreiðsla bylgna mæld með mörgum hraðanemum (oft 24 eða 48 nemum).
- Yfirborðsbylgjur framkallaðar við annan enda nemaraðarinnar, t.d. með sleggju eða hoppi.



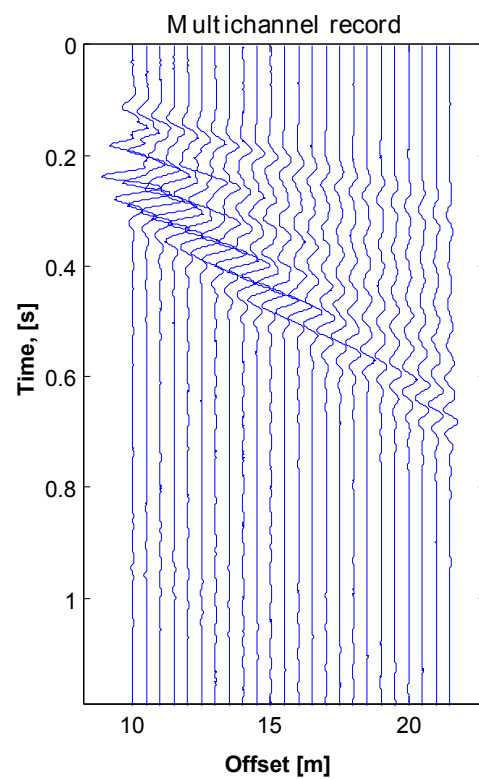
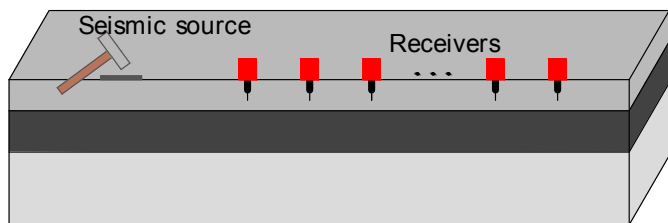


Hraðanemi





Field measurements





Ákvörðun tvístrunarferils

- Tvístrunarferill ákvarðaður (hraði Rayleigh bylgna sem fall af bylgjulengd).
- Tvær megin aðferðir mögulegar:
 - **The Phase-Shift Method.**
 - Greining í tíðnirúmi
 - The Swept-Frequency Approach.
 - Greining í tímarúmi.





1. Fourier transformation and amplitude normalization

$$\textcircled{1} \quad u_j(t) \xrightarrow{FFT} \tilde{u}_j(\omega) \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$\textcircled{2} \quad \tilde{u}_{j,norm}(\omega) = \frac{\tilde{u}_j(\omega)}{|\tilde{u}_j(\omega)|} = P_j(\omega)$$

2. Dispersion imaging

$$\textcircled{3} \quad V_{R,t} : \text{Testing Rayleigh wave phase velocity} \\ V_{R,t,min} \leq V_{R,t} \leq V_{R,t,max}$$

$$\textcircled{4} \quad \phi x_j : \text{Phase shifts corresponding to a given set of } \omega \text{ and } V_{R,T} \\ \phi x_j = \frac{\omega x_j}{V_{R,T}} = \frac{\omega(x_1 + (j-1)dx)}{V_{R,T}}$$

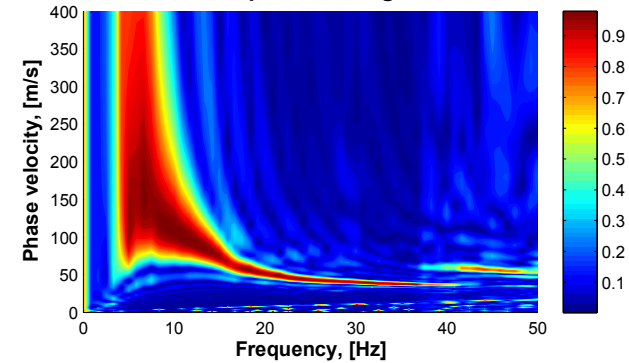
$$\textcircled{5} \quad A_s(\omega, V_{R,T}) : \text{Summed amplitude for a given set of } \omega \text{ and } V_{R,T} \\ A_s(\omega, V_{R,T}) = e^{-i\phi x_1} \tilde{u}_{1,norm}(\omega) + \dots + e^{-i\phi x_n} \tilde{u}_{n,norm}(\omega)$$

$\textcircled{6}$ Repeat $\textcircled{4}$ and $\textcircled{5}$ for varying ω and $V_{R,T}$

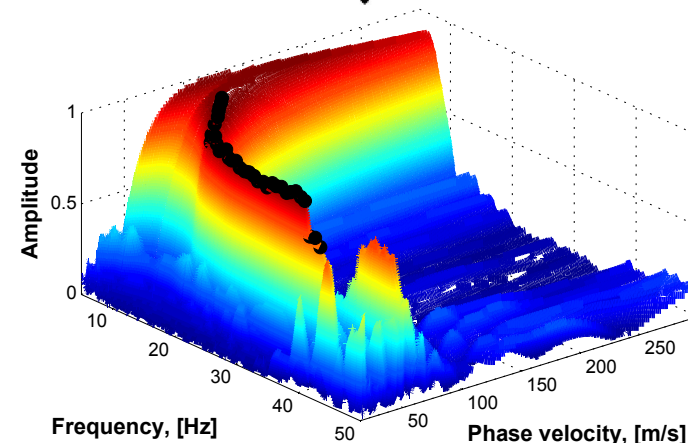
3. Extraction of dispersion curves

$$\textcircled{7} \quad A_s(\omega, V_{R,t}) \xrightarrow{\text{extract peak values}} \text{Rayleigh wave dispersion curve(s)}$$

Dispersion image



Fundamental mode dispersion curve extracted





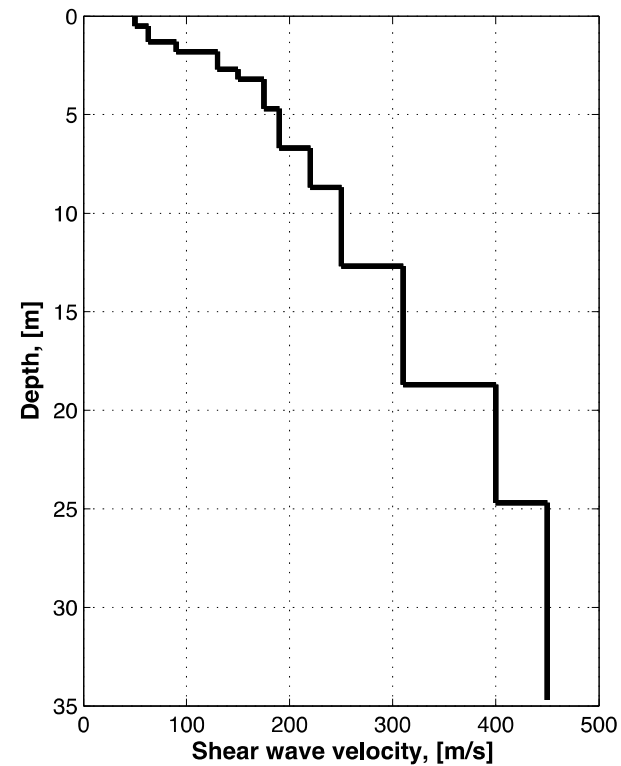
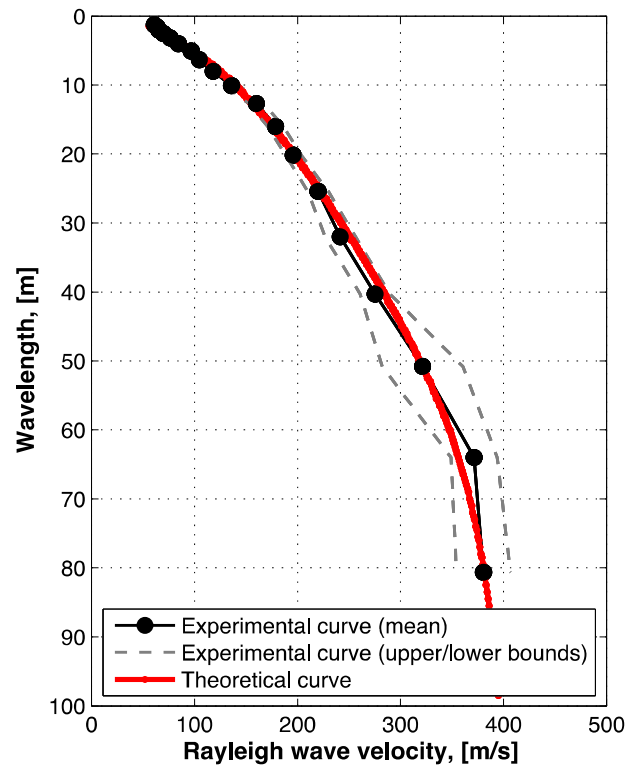
Bakreikningar

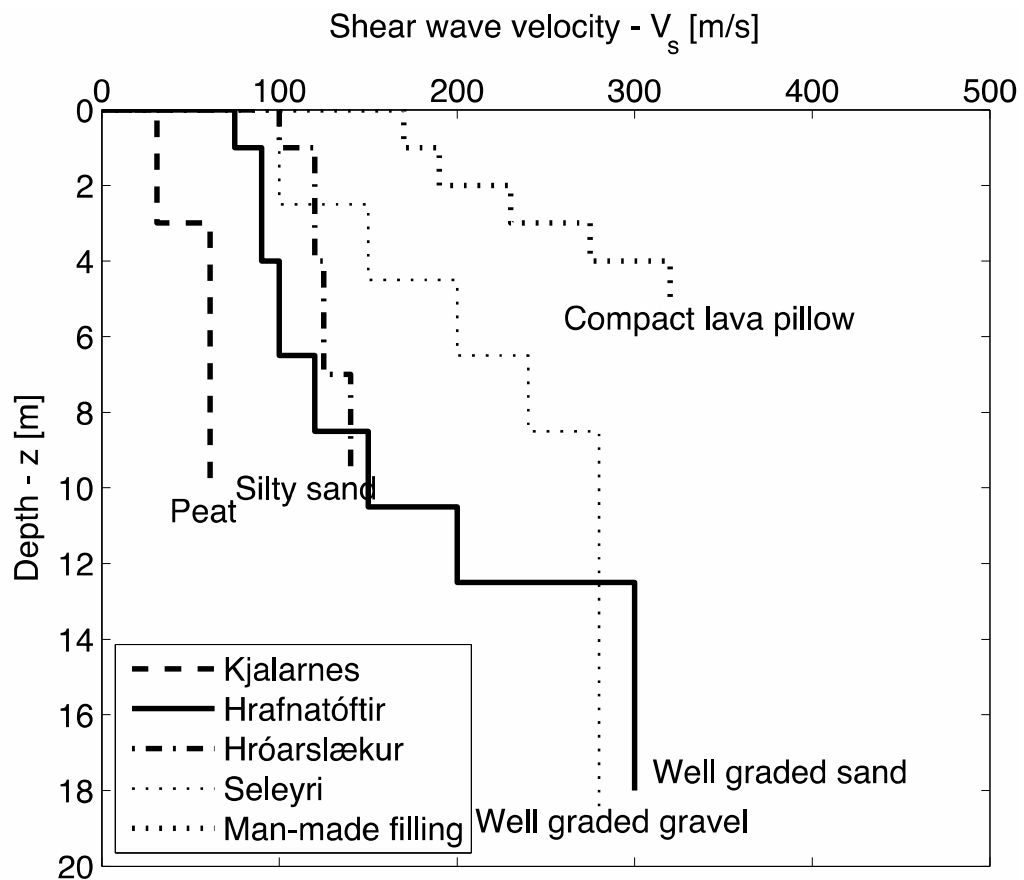
- Eðlisfræðilegt reiknilíkan notað til að ákvarða fræðilegan tvístrunarferil.
- Fræðilegur tvístrunarferill borinn saman við tvístrunarferil fenginn út frá niðurstöðum mælinga.
- Stíkar fræðilegs líkans uppfærðir í smáum skrefum og leitað að fræðilegum tvístrunarferli sem gefur minnsta frávik frá mældum feril.
- Stíkar fræðilega líkansins gefa skúfbylgjuhraða sem fall af dýpi.





Dæmi um niðurstöður MASW mælinga. Gögn frá Arnarbæli í Ölfusi.







Næstu skref

- Fleiri mælingar á stöðum með mismunandi jarðvegsgerð.
- Frekari þróun á hugbúnaði til að bakreikna tvístrunarferil og ákvarða skúfbylgjuhraða sem fall af dýpi.
 - Ætlunin er að auka sjálfvirkni í bakreikningum.
- Frekari athugun á áhrifum uppstillingar nemaraðarinnar (þ.e. millibili milli nema og fjarlægð frá höggstað að fyrsta nema) á nákvæmni niðurstaðna og mögulegt könnunardýpi.
- Sýna stífní í tvívíðu sniði.





TAKK FYRIR



HÁSKÓLI ÍSLANDS
UMHVERFIS- OG BYGGINGARVERKFRÆÐIDEILD