



# Stífnieiginleikar jarðvegs metnir með greiningu yfirborðsbylgna

Elín Ásta Ólafsdóttir, Sigurður Erlingsson & Bjarni Bessason





# 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.





# Bakgrunnur

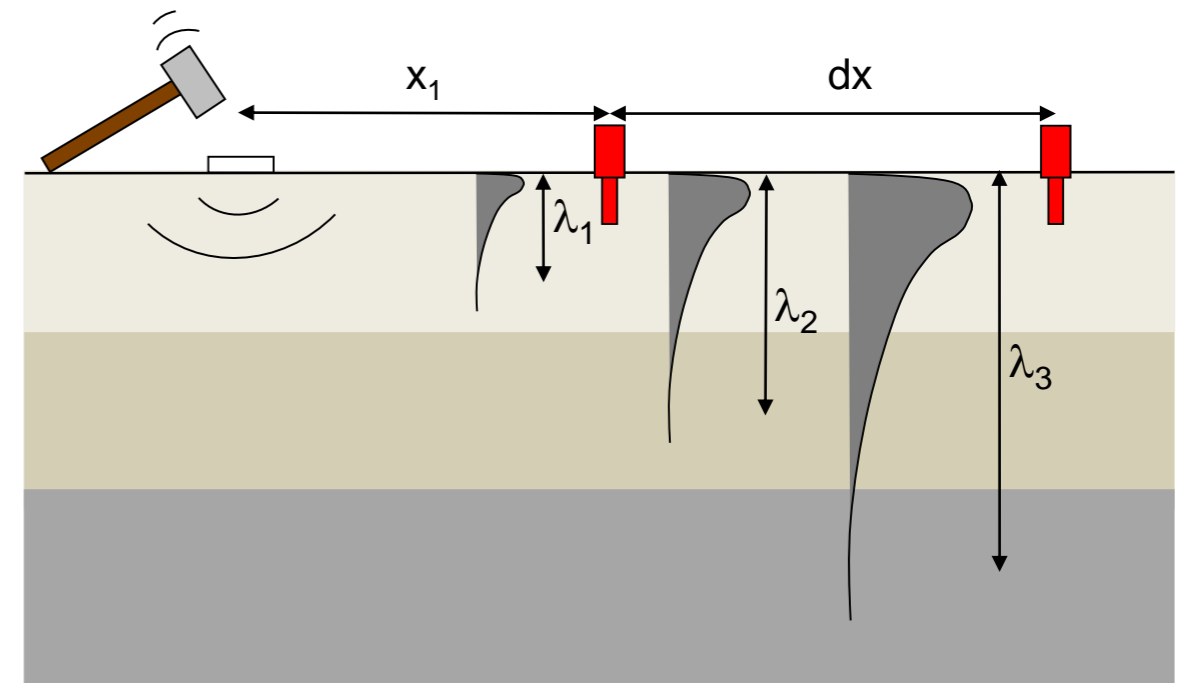
- Stífnir jarðlaga má ákvarða með ýmsum aðferðum:
  - Borholuaðferðir (*down-hole/cross-hole seismic surveys*).
  - SPT/CPT (*standard/cone penetration tests*).
  - **Yfirborðsbylgjuaðferðir** (*surface wave analysis methods*).
    - Yfirborðsbylgjur (Rayleigh bylgjur) framkallaðar með höggi og útbreiðsla þeirra mæld.
    - Aðferðafræðin byggir á því að nýta tengsl milli útbreiðsluhraða bylgjanna í lagskiptum jarðvegi og fjarðureiginleika jarðvegsins.





# Yfirborðsbylgjur

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





# Yfirborðsbylgjuaðferðir

- Tveimur afbrigðum einkum beitt:
  - *SASW (Spectral Analysis of Surface Waves)*
    - 2-10 hraðanemar. Gögn frá tveimur nemum notuð í senn við úrvinnslu.
    - Hefur verið beitt á mörgum stöðum hér á landi sl. tvo áratugi.
  - **MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)**
    - 24+ hraðanemar. Gögn frá öllum nemum notuð samtímis.
    - Byrjað að innleiða/próa héraðslendis árið 2013.
    - Opinn hugbúnaður fyrir úrvinnslu MASW mæligagna aðgengilegur á [masw.hi.is](http://masw.hi.is)





# Helstu kostir MASW mælinga

- Ódýrar og fljótlegar í framkvæmd.
- Henta fyrir fjölbreyttar jarðvegsgerðir.
- Umhverfisvænar.
  - Léttur tækjabúnaður (< 30 kg).
  - Valda ekki skemmdum á yfirborði prófunarstaðar.
- Gefa upplýsingar um stífni jarðlaga á meira dýpi en SASW.
- Aukinn áreiðanleiki niðurstaðna (hærra „signal/noise“ hlutfall) miðað við SASW.

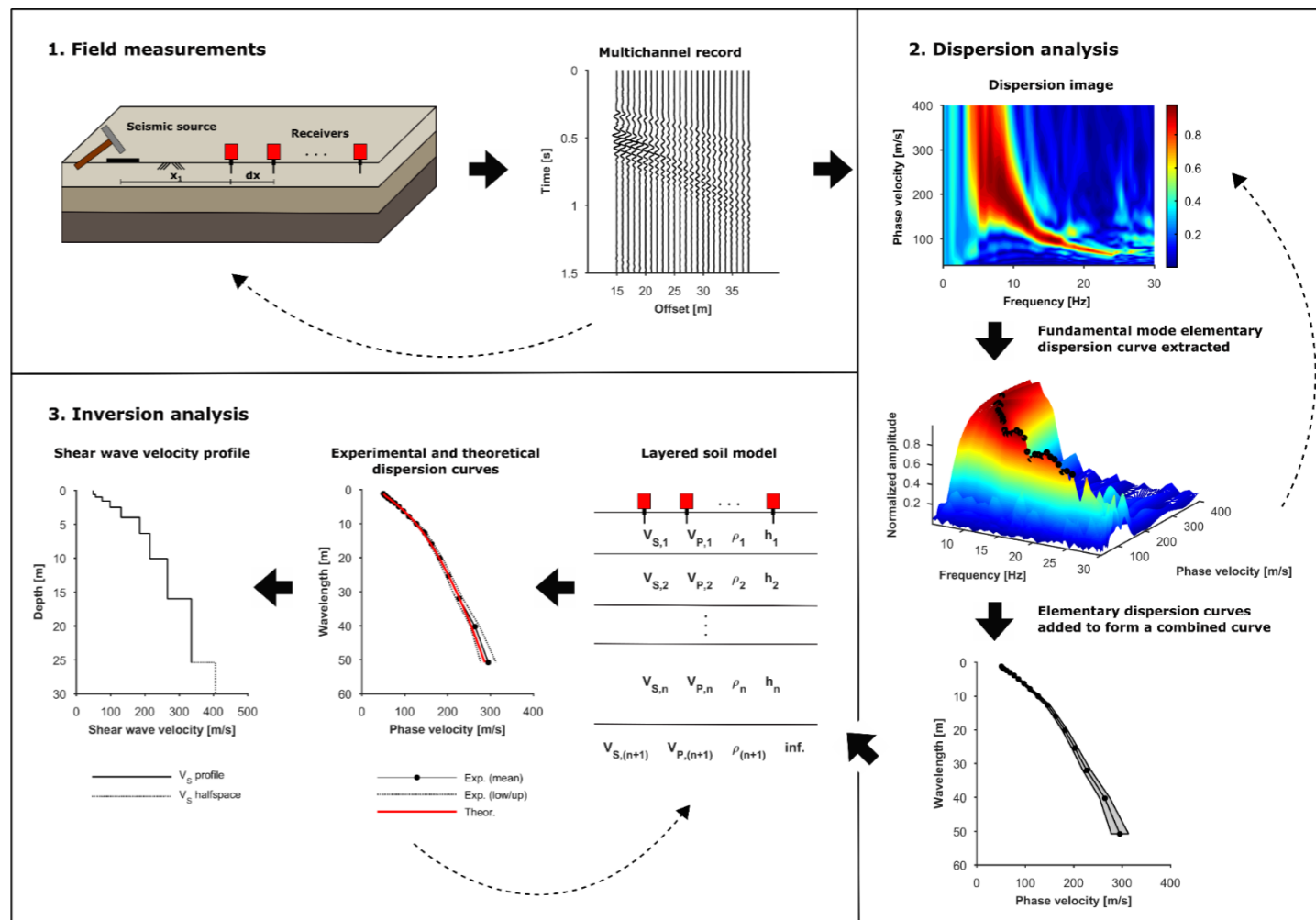




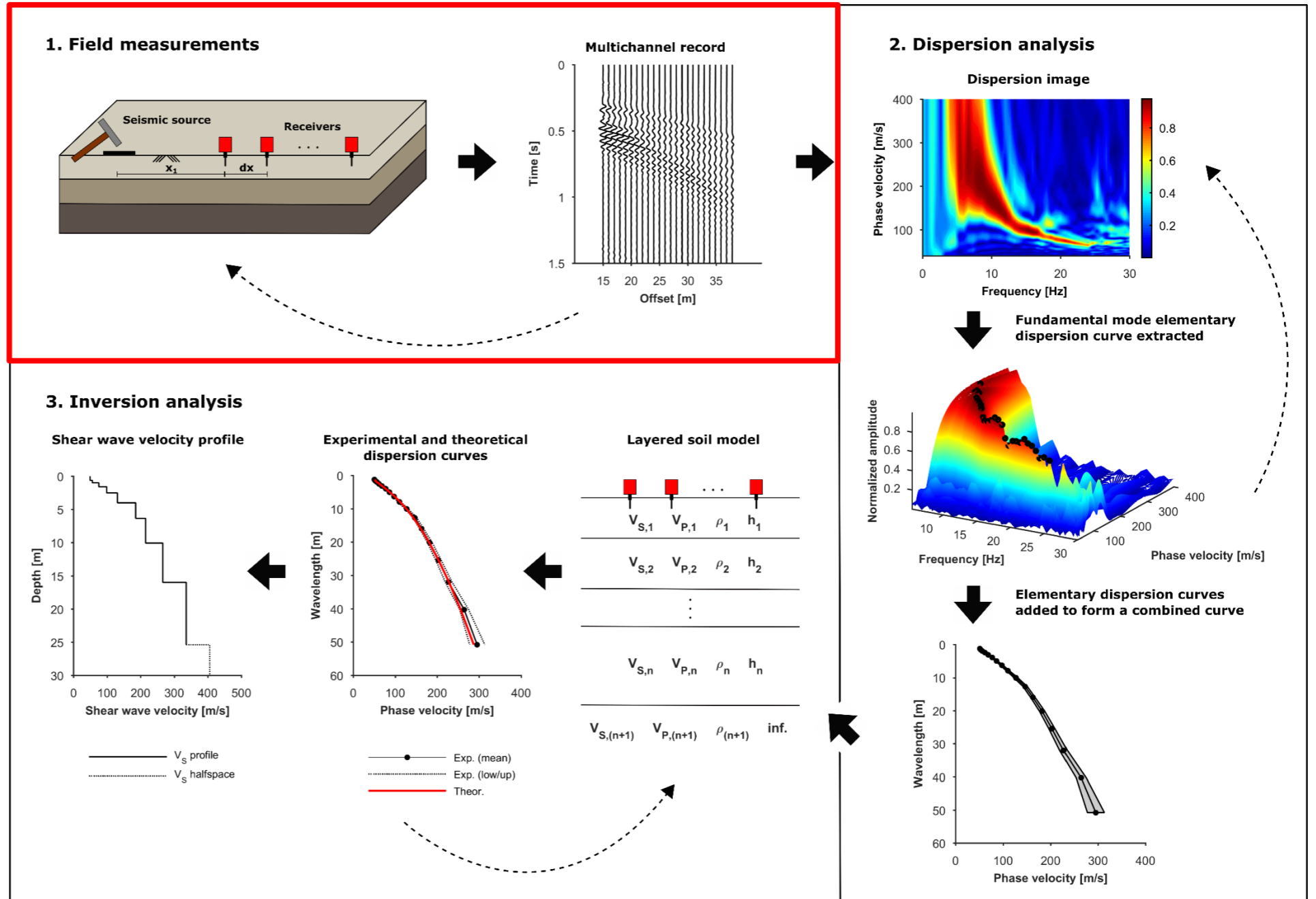


# MASW aðferðafræðin

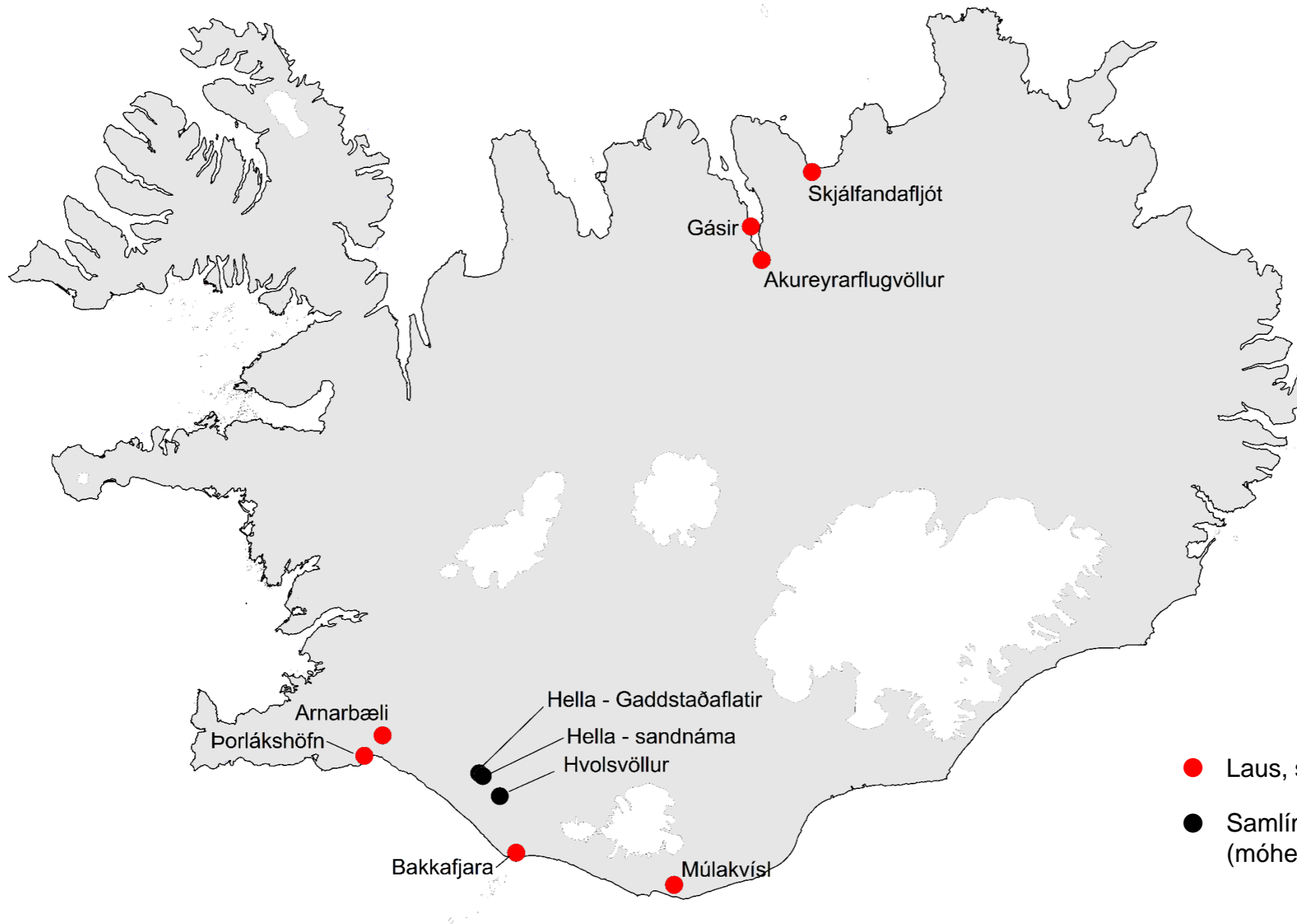
- Þrjú meginskref:
  1. Mælingar á vettvangi.
  2. Ákvörðun tvístrunarferils fyrir mæligögn.
  3. Ákvörðun á skúfbylgjuhraða sem fall af dýpi (bakreikningar).



1. Mælingar á vettvangi.
2. Ákvörðun tvístrunarferils fyrir mæligögn.
3. Ákvörðun á skúfbylgjuhraða sem fall af dýpi (bakreikningar).







● Laus, sendinn jarðvegur.

● Samlímdu jarðvegur  
(móhella/sandsteinn)

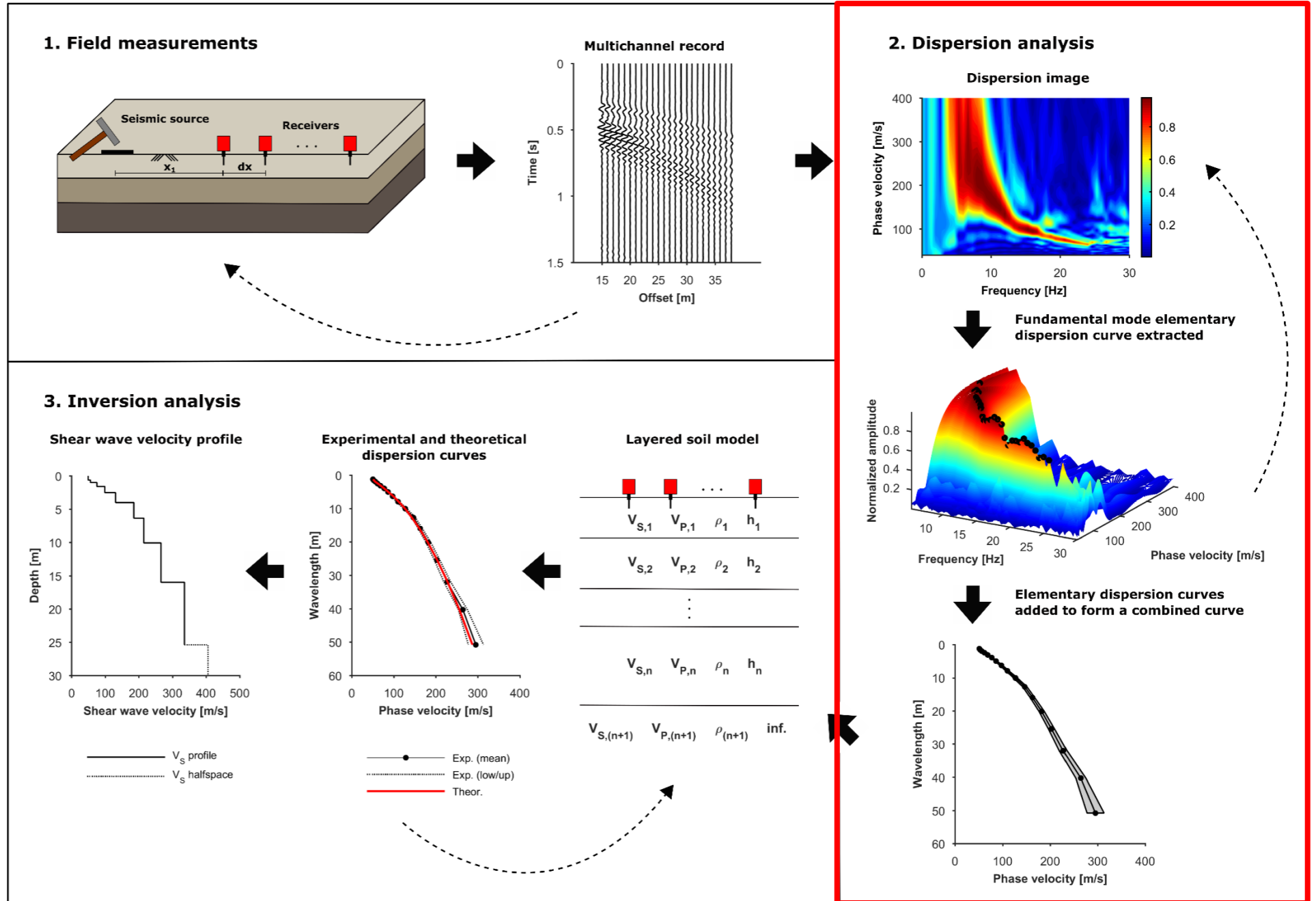


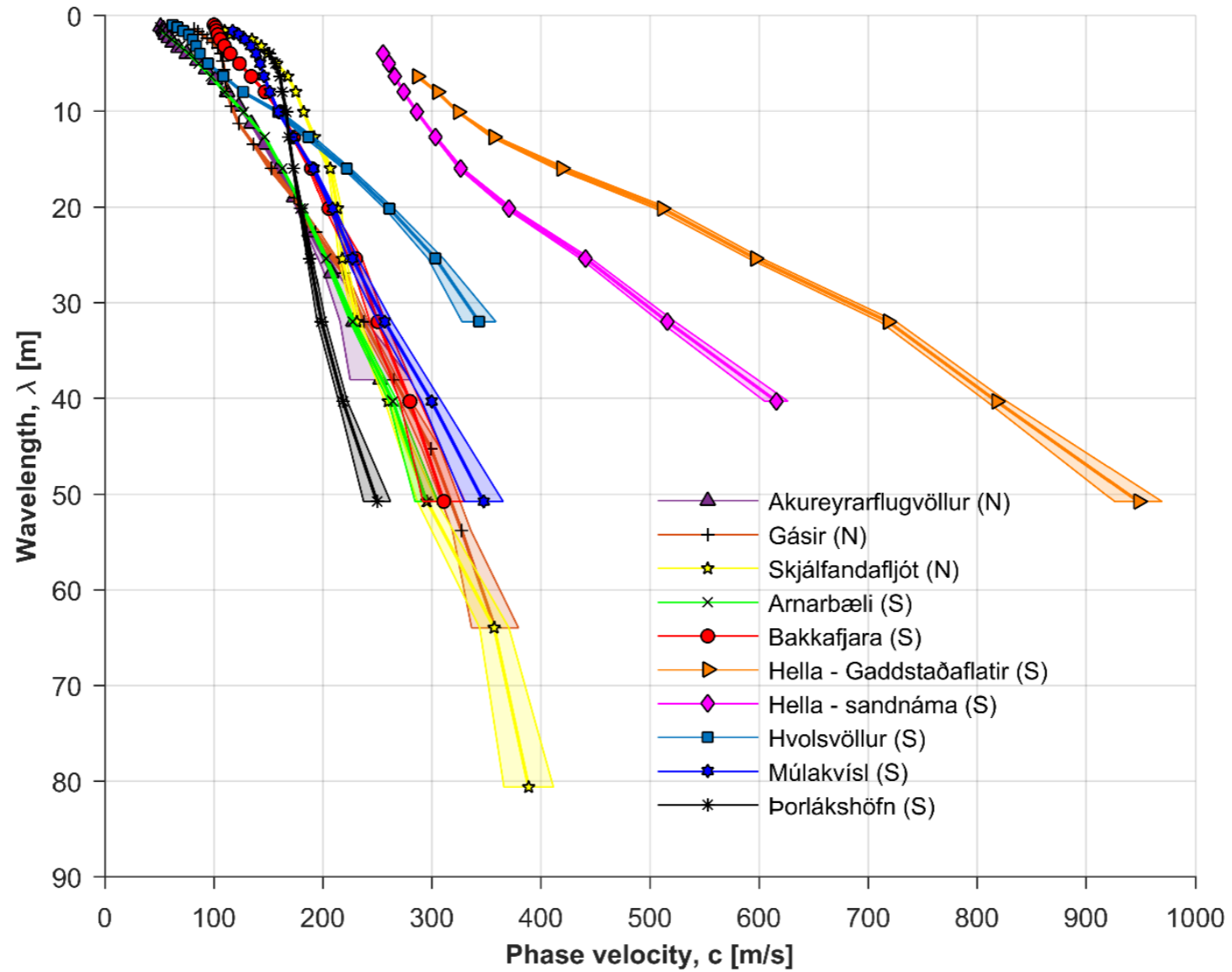
# Dæmi um uppstillingu mælibúnaðar



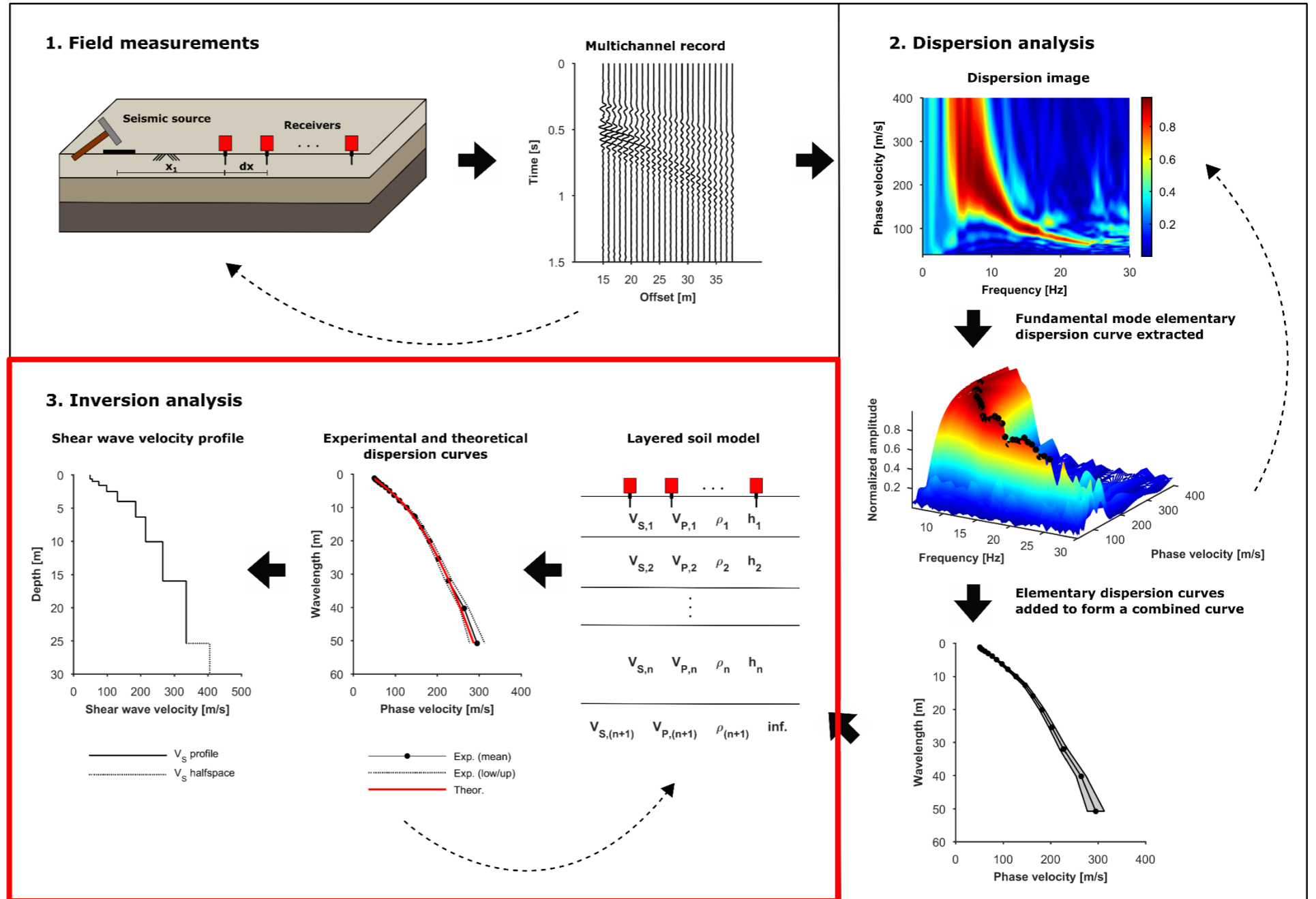


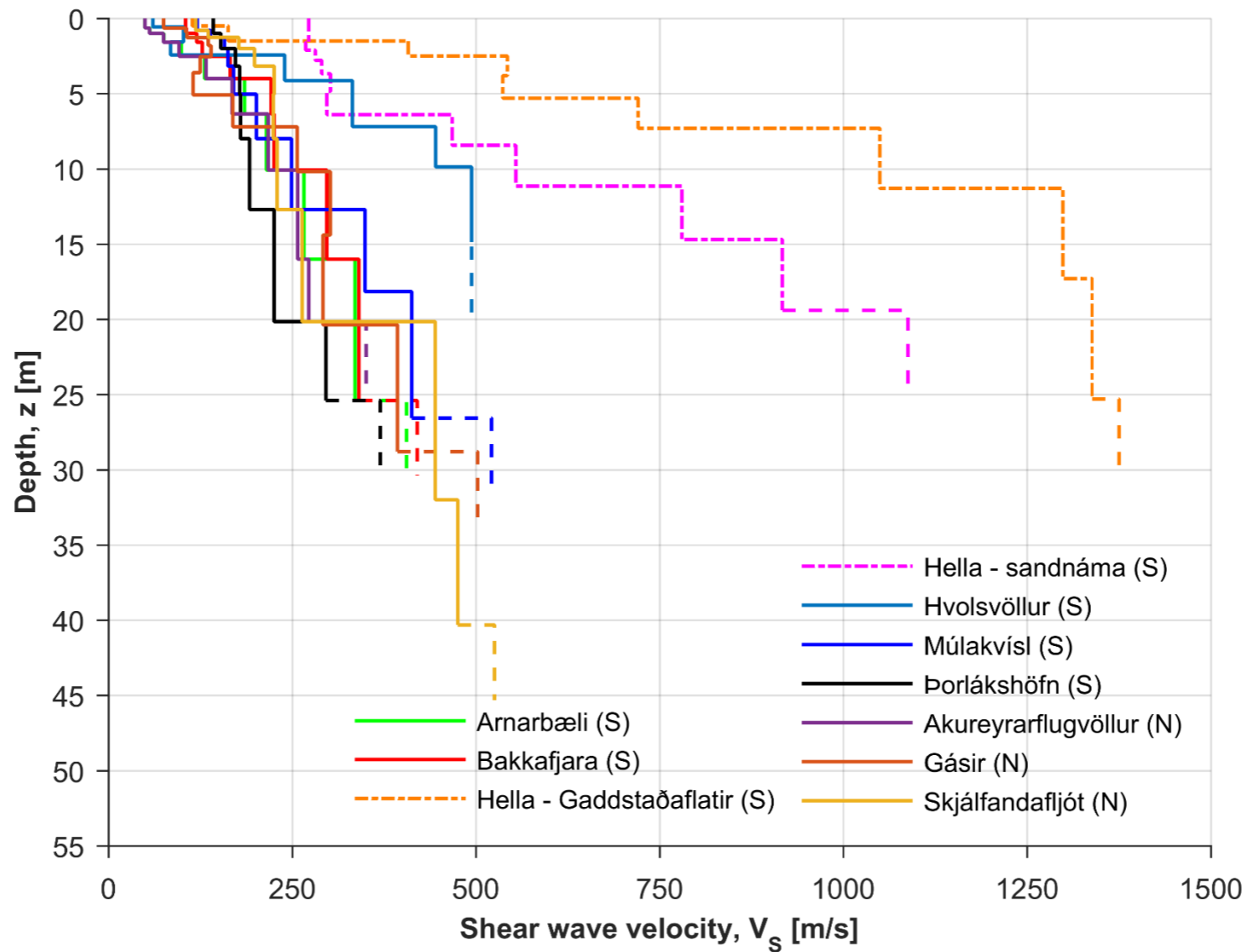
1. Mælingar á vettvangi.
2. Ákvörðun tvístrunarferils fyrir mæligögn.
3. Ákvörðun á skúfbylgjuhraða sem fall af dýpi (bakreikningar).



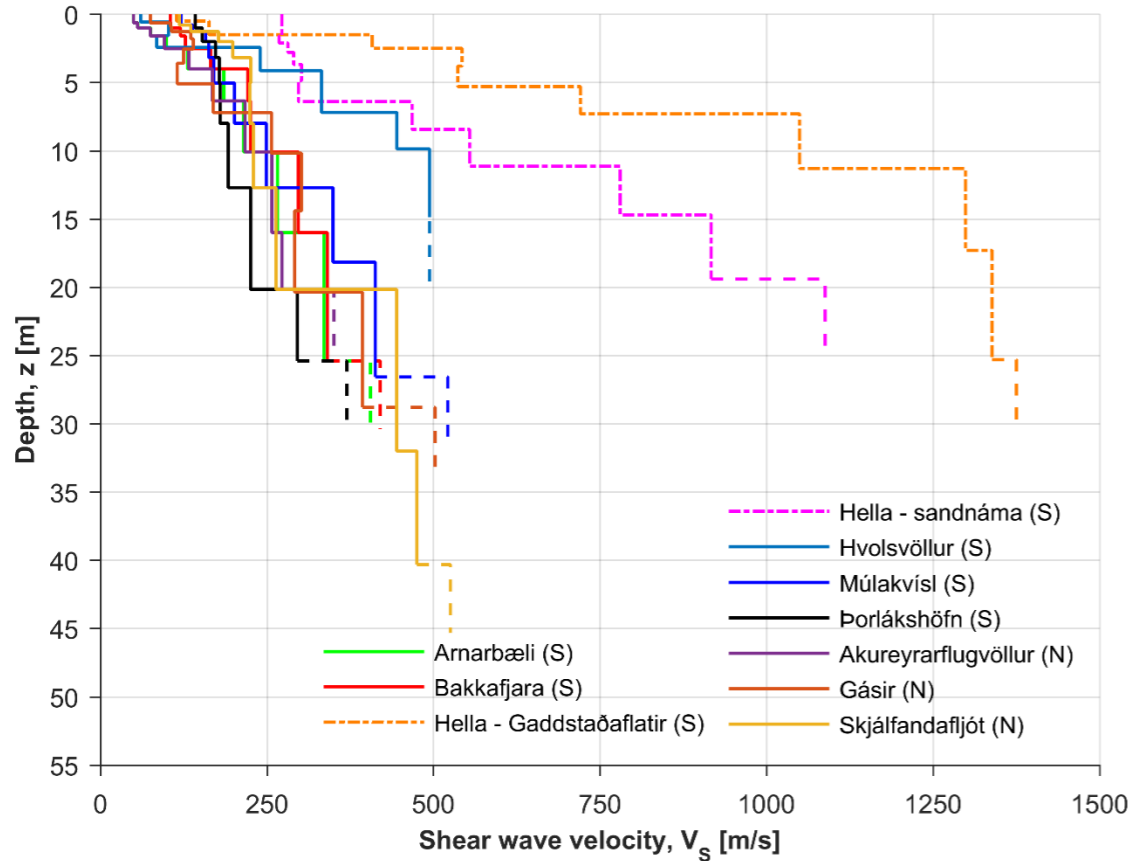


1. Mælingar á vettvangi.
2. Ákvörðun tvístrunarferils fyrir mæligögn.
3. Ákvörðun á skúfbylgjuhraða sem fall af dýpi (bakraikningar).









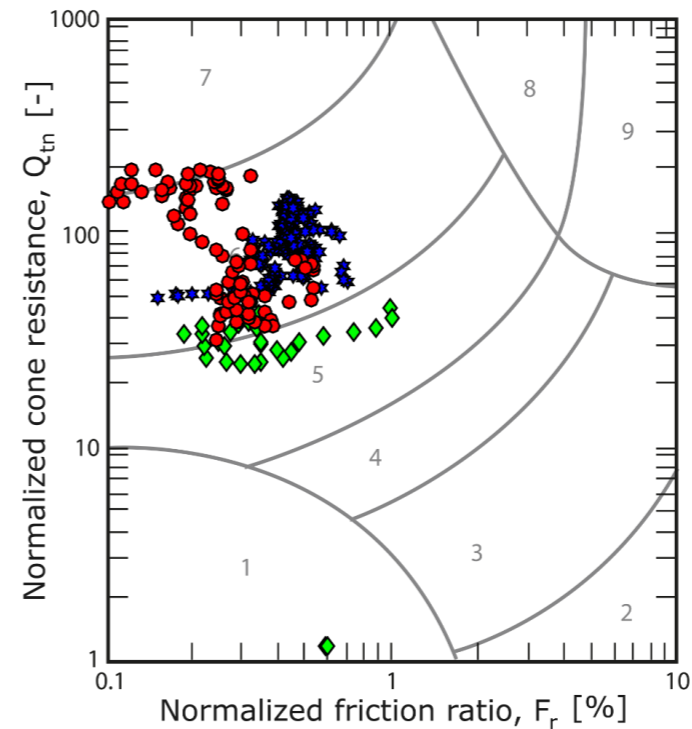
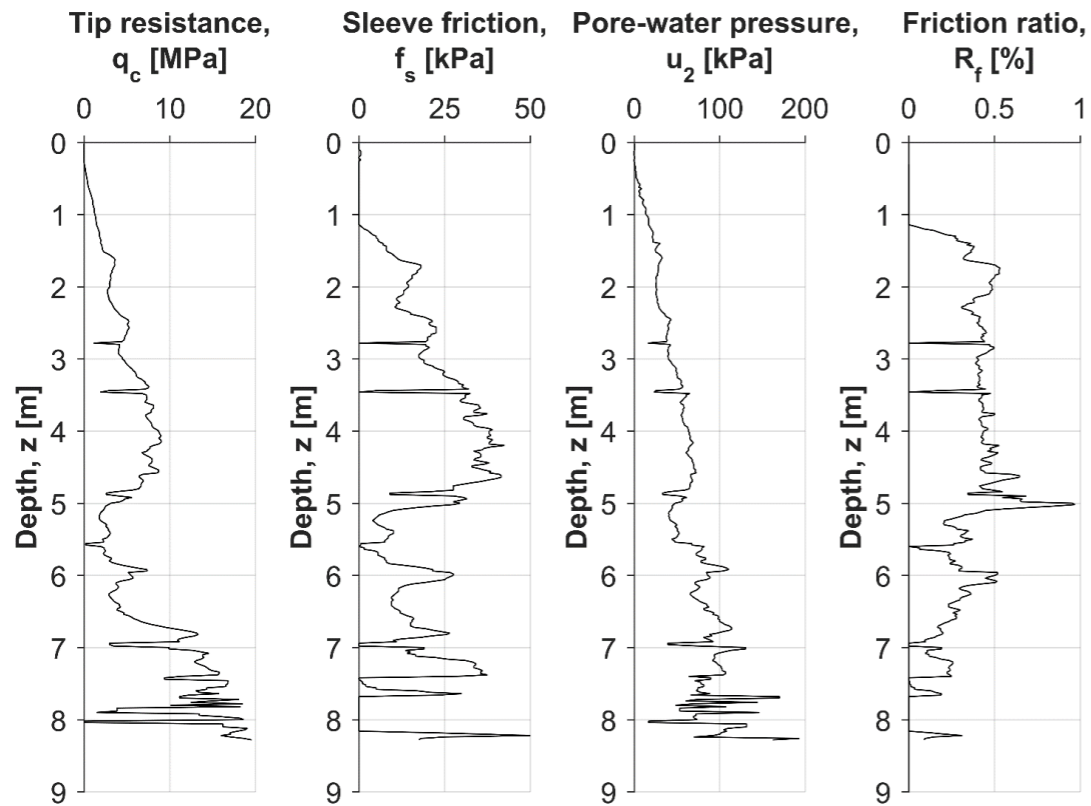
	$V_{S,30}$ [m/s]	Jarðvegsflokkur (EC8)
<b>Arnarbæli</b>	215	C
<b>Bakkafjara</b>	258	C
<b>Hella - Gaddstaðaflatir</b>	774	B
<b>Hella - sandnáma</b>	588	B
<b>Hvolsvöllur</b>	(325)	C/B/E*
<b>Múlavísl</b>	275	C
<b>Þorlákshöfn</b>	222	C
<b>Akureyrarflugvöllur</b>	206	C
<b>Gásir</b>	235	C
<b>Skjálfafljót</b>	267	C

\* Frekari mælinga er þörf.

Jarðvegsflokkur (EC8)	$V_{S,30}$ [m/s]
<b>A</b> „Rock/rock-like geological formation.“	> 800
<b>B</b> „Very dense sand, gravel, or very stiff clay.“	360–800
<b>C</b> „Dense or medium-dense sand, gravel or stiff clay.“	180–360
<b>D</b> „Loose-to-medium cohesionless soil/soft-to-firm cohesive soil.“	<180
<b>E</b> „Surface alluvium layer with $V_S$ values of type C or D and thickness of 5–20 m, underlain by stiffer material with $V_S > 800$ m/s.“	



# CPT mælingar við Þorlákshöfn



- ★ Depth: 0-4.98 m
- ◆ Depth: 5.00-5.70 m
- Depth: 5.72-8.28 m

### Soil Behaviour Type

1. Sensitive, fine grained
  2. Organic soils - clay
  3. Clays - silty clay to clay
  4. Silt mixtures - clayey silt to silty clay
  5. Sand mixtures - silty sand to sandy silt
  6. Sands - clean sand to silty sand
  7. Gravelly sand to dense sand
  8. Very stiff sand to clayey sand\*
  9. Very stiff, fained grained\*
- \* Heavily overconsolidated or cemented





# Samanburður CPT og MASW mælinga

- Mögulegt að meta skúfbylgjuhraða út frá niðurstöðum CPT mælinga.
  - Mikill fjöldi reynslulíkinga til.
  - Nýttar til samanburðar við niðurstöður MASW mælinga.

---

$$V_S \approx (10.1 \log(q_c) - 11.4)^{1.67} \left(\frac{100f_s}{q_c}\right)^{0.3} \quad \text{Hegazy og Mayne (1995)}$$

---

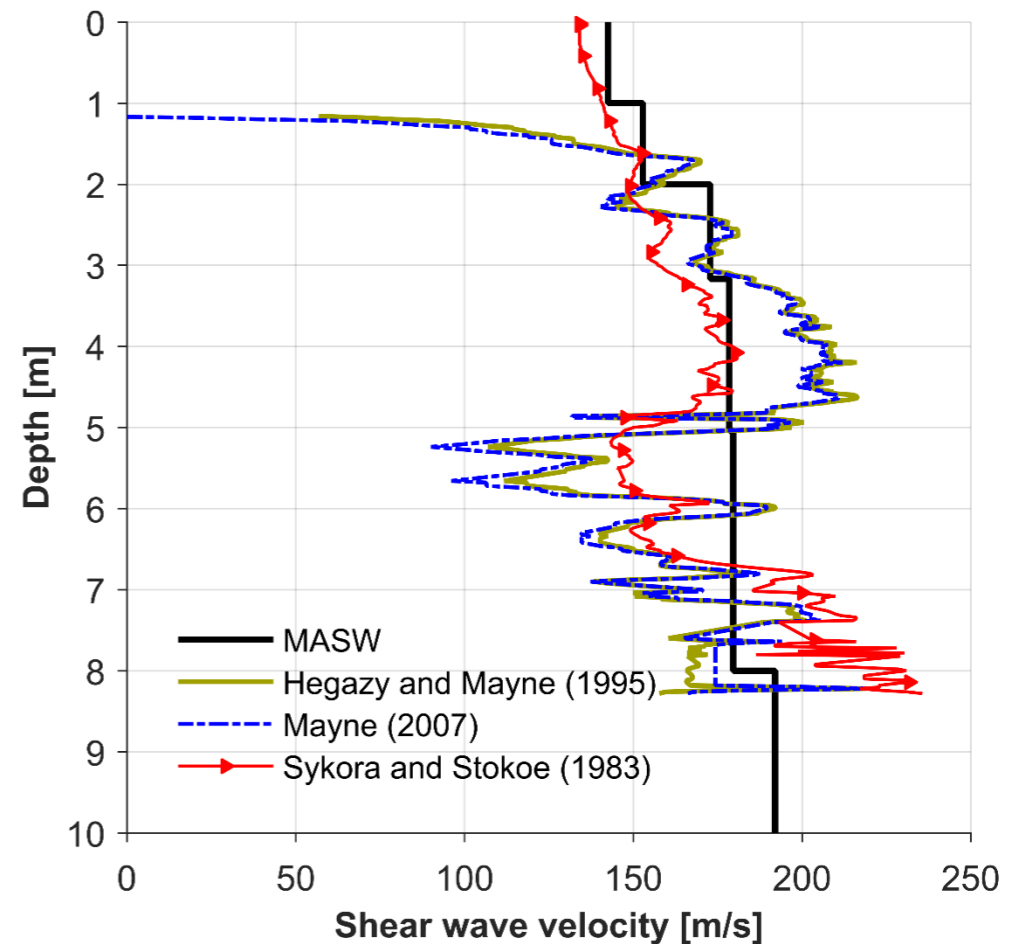
$$V_S \approx 118.8 \log(f_s) + 18.5 \quad \text{Mayne (2007)}$$

---

$$V_S \approx 134.1 + 0.0052q_c \quad \text{Sykora og Stokoe (1983)}$$

---

$q_c$  og  $f_s$  í kPa.





## Næstu skref

- Fleiri mælingar á náttúrulegum stöðum með mismunandi jarðvegsgerð.
- Mælingar til að meta efniseiginleika jarðvegsfyllinga og jarðvegsgarða/stíflna.
- Frekari samanburður niðurstaðna við aðrar mæliaðferðir og/eða reynslulíkingar.
- Mæld skúfbylgjuhraðasnið gerð aðgengileg á opinni vefsíðu.





# Takk fyrir!



HÁSKÓLI ÍSLANDS  
UMHVERFIS- OG BYGGINGARVERKFRÆÐIDEILD



# Heimildir

- Hegazy, Y. A. og Mayne, P.W. (1995). Statistical correlations between  $V_S$  and cone penetration data for different soil types. *Proceedings of the International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT '95*, 4-5 October 1995, Linköping, Sweden (Vol. 2, pp. 173-178).
- Mayne, P.W. (2007). *Cone Penetration Testing State-of-Practice*. NCHRP Project 20-05, Topic 37-14, Synthesis 368 on Cone Penetration Testing, February 2007.
- Sykora, D.W. og Stokoe K.H. (1983). *Correlations of In Situ Measurements in Sands With Shear Wave Velocity*. *Geotechnical Engineering Report GR83-33*. The University of Texas, Austin, TX.

