

Notkun á yfirborðsbylgjum við mat á stífnieiginleikum jarðvegs og jarðvegsfyllinga

Elín Ásta Ólafsdóttir, Bjarni Bessason, Sigurður Erlingsson (Háskóli Íslands)

Þekking á jarðtæknilegum eiginleikum jarðvegs og manngerðra jarðvegsfyllinga er mikilvæg í jarðtæknilegri hönnun og jarðtæknilegri jarðskjálftaverkfræði. Jarðskjálftavá á Íslandi er sú mesta í Norður-Evrópu. Jarðfræði Íslands er jafnframt sérstök. Víða eru þykk, laus setlög sem myndast hafa við rof jökla og framburð jökuláa, eða með öskufalli, gjóskumyndun og hraunrennsli í eldhræringum. Setlögin eru jarðfræðilega ung og frábrugðin þeim sem finna má í nágrennalöndum. Jarðefni sem notuð eru við mannvirkjagerð eru af sömu ástæðu sérstök. Upplýsingar um eiginleika þeirra, svo sem stífni, þjöppunarstig og viðnám gegn ysjun í jarðskjálftum, verða því ekki sóttar í erlenda gagnabanka eða rannsóknaniðurstöður. Þar af leiðandi er nauðsynlegt að afla þeirra með staðbundnum mælingum.

Ýmsum aðferðum má beita til að meta stífni/skúfbylgjuhraða jarðlaga. Þar á meðal eru borholuáðferðir (svo sem „down-hole“ og „cross-hole“ mælingar), aðferðir sem byggja á að reka eða þrýsta niður stálstöng og mæla þannig viðnám jarðvegsins (SPT og CPT mælingar) og loks aðferðir sem byggja á yfirborðsbylgjumælingum, sem eru hér til umfjöllunar. Yfirborðsbylgjumælingar byggja á tvístrunareiginleikum yfirborðsbylgna í lagskiptum jarðvegi og tengslum á milli útbreiðsluhraða þeirra og fjaðureiginleika jarðvegs. Slíkum aðferðum má skipta í þrjú meginskref:

1. **Öflun mæligagna:** Hraðanemum er komið fyrir á yfirborði jarðvegs. Yfirborðsbylgjur eru framkallaðar með höggi á yfirborð eða hlustað eftir umhverfistitringi.
2. **Greining mæligagna:** Tvístrunarferill sem lýsir hraða grunntóns Rayleigh-bylgna sem falli af bylgjulengd er ákvarðaður út frá niðurstöðum hvernar mælingar. Með endurteknum útreikningum fyrir aðskildar mælingar er meðaltalstvístrunarferill fyrir prófunarstaðinn ákvarðaður ásamt óvissumörkum.
3. **Bakreikningar:** Eðlisfræðilegt reiknilíkan, sem reiknar út bylgjuútbreiðslu í lagskiptum jarðvegi, er notað til að ákvarða þann fræðilega tvístrunarferil sem gefur minnsta frávik frá mældum ferli. Stíkar líkansins, fjöldi laga og skúfbylgjuhraði og þykkt hvers lags, eru stilltir af þannig að fræðilegi tvístrunarferillinn falli sem best að mældum tvístrunarferli. Stíkar líkansins gefa að lokum skúfbylgjuhraða (eða stífni) sem fall af dýpi.

Helstu kostir yfirborðsbylgjumælinga eru að þær eru hagkvæmar og fljótlegar í framkvæmd og valda ekki raski á yfirborði prófunarstaðar. Yfirborðsbylgjumælingar henta jafnframt vel bæði fyrir finefnaríkan lausan jarðveg og grófari jarðveg, þar sem erfitt getur verið að framkvæma annars konar mælingar. Aðferðinni hefur einnig verið beitt með góðum árangri á stöðum sem einkennast af

samlímdum jarðvegi, þ.e. móhellu og/eða sandsteini. Niðurstöður mælinga gefa mat á meðaltalsstífnieiginleikum jarðvegs innan 5-25 m radiuss (allt eftir uppstillingu mælibúnaðar) og henta því vel við kortlagningu á eiginleikum stærri svæða.

MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) aðferðin var fyrst kynnt um síðustu aldamót og byrjað var að nota hana og þróa hér á landi árið 2013 í verkefni á vegum Umhverfis- og byggingarverkfræðideildar Háskóla Íslands. Aðferðafræðin byggir á því að yfirborðsbylgjur eru framkallaðar með höggi á yfirborð jarðar og útbreiðsla þeirra mæld með röð hraðanema. Er því jafnan vísað til slíkrar gagnaöflunar sem „aktífrar“ (*active-source measurements*). Til þessa hafa MASW mælingar verið framkvæmdar á tæplega þrjátíu náttúrulegum stöðum hérlandis, auk þess sem mælingar hafa verið gerðar á jarðstíflum og þjöppuðum fyllingum. Enn fremur hafa MASW mælingar verið framkvæmdar á prófunarstöðum í Noregi þar sem erlendir rannsóknahópar hafa mælt skúfbylgjuhraða með fjölda annarra aðferða. Niðurstöðum mælinga ber mjög vel saman við fyrirliggjandi niðurstöður. Því má álykta að aðferðafræðin skili áreiðanlegum niðurstöðum.

Hefðbundnar MASW mælingar skila að jafnaði upplýsingum um stífnieiginleika jarðvegs niður á u.þ.b. 15-30 m dýpi. Takmarkast könnunardýpið af tíðni þeirra bylgna sem unnt er að framkalla/mæla og er það háð staðbundnum aðstæðum. Einnig hafa afl högggjafans, lengd nemaraðarinnar og eigintíðni þeirra nema sem notaðir eru við gagnaöflun áhrif á dýpi mælingarinnar. Nú stendur yfir vinna við að útvíkka aðferðafræðina með það að markmiði að auka könnunardýpið, fá auknar upplýsingar um lagskiptingu og meta dýpi niður á fast (eða dýpi niður á stíf jarðlög). Byggir útvíkkunin á greiningu umhverfistitrings (*ambient vibrations, microtremors*), þ.e. lágtíðnibylgja sem orsakast meðal annars af sjávaröldum, vindi, umferð og iðnaði. Þessi umhverfistitrिंगur er mældur með neti frístandandi jarðskjálftamæla, sem hafa mikla næmni og víða bandbreidd, og geta því skynjað veika lágtíðnihreyfingu. Jafnan er vísað til slíkrar gagnaöflunar sem passífrar (*passive-source measurements*). Samþætt notkun aktífra og passífra mælinga felur í sér að upplýsingar sem fást við greiningu umhverfistitrings eru nýttar samhliða upplýsingum frá hefðbundnum MASW mælingum í gagnaútvinnsluskrefinu eða við bakreikningana. Við þetta eykst rannsóknardýpi til muna. Til viðbótar við ofangreinda samþætta greiningu má nota gögnin frá jarðskjálftamælunum til að greina náttúrulega tíðni mælistaða með svokallaðri HVSR-tækni (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Slík greining nýtist við að reikna út staðbundna jarðskjálftamögnun og við að flokka jarðvegsstaði með tilliti til jarðskjálftaálags.

Gerð er grein fyrir mælingum sem framkvæmdar hafa verið á völdum stöðum á Suðurlandi, bæði með það að markmiði að ákvarða skúfbylgjuhraða þykkra setlaga og til að meta breytileika í jarðlagasniði yfir stærra svæði. Fyrirhugað er að framkvæma frekari mælingar til að meta eiginleika íslensks jarðvegs, jarðvegsfyllinga og jarðvegsgarða, og bera saman við aðrar mæliaðferðir (svo sem borholumælingar og CPT próf) og/eða reynslulíkingar. Stefnt er að því að niðurstöður mælinga verði birtar í opnum gagnagrunni sem ætlað er að hýsa mæld skúfbylgjuhraðasnið frá mismunandi stöðum á landinu, sem nýst geta hönnuðum í mannvirkjagerð.