

Jarðtæknirannsóknir fyrir vega- og brúagerð



Vegagerðin
Hönnunardeild - jarðtækni
Reykjavík

Mars 2016

-

Haraldur Sigursteinsson

Jón Skúlason

Sverrir Örvar Sverrisson

Mars 2015 – netúgáfa

Mars 2016 – 2. netúgáfa

JARÐTÆKNIRANNSÓKNIR

1 EFNISYFIRLIT

2	INNGANGUR	2-4
3	Tilgangur jarðtæknirannsókna	3-4
3.1	Staðlar og verklýsingar – Eurocode	3-5
4	HÖNNUNARFERLI og JARÐTÆKNIRANNSÓKNIR.....	4-7
4.1	Jarðtæknirannsóknir - valkostir	4-9
4.2	Flokkun mannvirkja.....	4-10
5	JARÐTÆKNILEG ÁHÆTTUSTÝRING OG ÁHÆTTUMAT.....	5-11
5.1	Skráning jarðtæknilegrar áhættu	5-14
5.2	Frum jarðvegsathugun og drög að jarðtækniskýrslu.....	5-15
5.3	Jarðtæknirannsóknaskýrslan (Geotechnical investigation report)	5-15
5.3.1	Framsetning á jarðtæknilegum upplýsingum.....	5-16
5.3.2	Mat á jarðtæknilegum upplýsingum	5-17
5.4	Jarðtæknihönnunarskýrsla	5-18
5.5	Eftirlits aðferðin.....	5-19
5.6	Skýrsla um jarðtæknilega svörun - endurmat	5-19
6	JARÐTÆKNIRANNSÓKNIR FYRIR VEGA- OG BRÚAGERÐ.....	6-20
6.1	Jarðfræðileg kortlagning og loftmyndir	6-20
6.2	Svæðisganga - vettvangskönnun.....	6-20
6.3	Boranir í veglínu	6-21
6.4	Boranir í brúastæðum.....	6-21
6.5	Borvagn Vegagerðarinnar.....	6-22
6.6	BORADFERÐIR	6-24
6.6.1	Slagborun.....	6-24
6.6.2	Höggborun – Borro - SPT.....	6-24
6.6.3	Snúnings- og þrýstiborun.....	6-25

6.6.4	Heildarborun – Total sondering	6-26
6.6.5	Bergborun - slagborun - staðfesting á klöpp.....	6-27
6.6.6	Þrýstiborun – CPT	6-28
6.6.7	Kjarnaborun, sýnataka úr bergi.....	6-29
6.6.8	Borun með fódurrörum - Odex	6-30
6.6.9	Borun með fódurrörum - MIT.....	6-31
7	Jarðsjár – bylgjuhraða- og bylgjubrotsmælingar.....	7-32
7.1	Mælingar bylgjuhraða í jarðvegi.....	7-32
7.2	Rafbylgjumælingar – GPR.....	7-32
7.2.1	Tilgangur.....	7-32
7.2.2	Framkvæmd	7-32
7.2.3	Almennt	7-33
7.2.4	Kostir og gallar GPR.....	7-34
7.2.5	Samþætting mælinga GPR, laser og FWD við myndatöku	7-34
7.3	Seismiskar mælingar, endurvarp eða bylgjubrot.....	7-35
7.4	Endurvarpsmælingar.....	7-35
7.4.1	Endurvarpsmælingar á sjó.....	7-35
7.5	Bylgjubrotsmælingar	7-37
7.6	SASW-mælingar, skúfbylgjumælingar.....	7-38
8	VIÐAUKAR	8-39
8.1	Niðurstöður frá höggborun.....	8-39
8.2	Odexborun í brúarstæði.....	8-40
9	HEIMILDIR.....	9-51
9.1	NÁNAR UPPLÝSINGAR.....	9-51

2 INNGANGUR

Nýir staðlar og verklagsreglur við jarðtæknirannsóknir í nágrennalöndum okkar hafa leitt til þess að tímabært þótti að gefa út leiðbeiningar um jarðtæknirannsóknir í vega og brúargerð á Íslandi. Leiðbeiningarnar byggja á úttekt á jarðtæknirannsóknnum sem stundaðar eru hér á landi og reynt var að meta hverjar henta best með hliðsjón af nýlegum **Evrópustöðlum** er varða slíkar rannsóknir.

Þær jarðtæknirannsóknir sem leiðbeiningarnar taka til eru boranir í laus og föst jarðlög, ásamt sýnatöku og frekari efnisrannsóknir.

Í leiðbeiningunum eru settar fram tillögur að verklagi varðandi jarðtæknirannsóknir sem byggja á reynslu hér á landi með hliðsjón af nýjum verklagsreglum á norðurlöndunum.

Verklagsreglur á norðurlöndunum byggja að miklu leyti á Evrópustaðlinum Eurocode 7 og er hann því lagður til grundvallar og bent á hvað þurfi til að uppfylla kröfur þær sem finna má í staðlinum

Markmið leiðbeininganna er að kynna nýjustu aðferðir og verklag við jarðtæknirannsóknir og í vega- og brúargerð. Lagt er upp með að leiðbeiningarnar séu aðgengilegt gagn um hvernig staðið skuli að jarðtæknirannsóknnum fyrir mismunandi verk og verkþætti miðað við sambærilegar kröfurá norðurlöndum.

Kostnaður í vegagerð er mjög háður jarðtæknilegum aðstæðum í vegstæði og því brýnt að upplýsingar séu sem réttastar og settar fram á skiljanlegan máta. Nýir staðlar og verklagsreglur við framkvæmdir kalla á betri og nákvæmari upplýsingar um aðstæður. Aðferðir til jarðtæknirannsókna hafa einnig tekið töluverðum breytingum og ný tæki hafa komið á markaðinn á síðustu árum t.d. á sviði bylgjumælinga.

3 TILGANGUR JARÐTÆKNIRANNSÓKNA

Tilgangur jarðtæknirannsókna er að afla upplýsinga um gerð og eiginleika jarðlaga undir vegstæðinu, þ.e. dýpt á burðarhæfan botn, legu klappar sem og grunnvatns. Meðal annars þarf að afla upplýsinga um eftirfarandi:

- Hvaða aðstæður eru til staðar sem geta haft áhrif á hönnun fyrirhugaðs mannvirkis ?
- Hvaða breytingar geta orðið á umhverfi og undirstöðu mannvirkisins með tilkomu þess ?
- Hvað möguleikar eru til notkunar þess efnis sem til staðar er á framkvæmdarsvæðinu ?
- Hvaða möguleikar eru á efnisvinnslu innan svæðis og hvaða möguleikar eru á að nálgast efni annarstaðar frá ?

Fullnægjandi jarðtæknilegar upplýsingar þurfa að vera aðgengilegar fyrir hönnuðinn til þess að hann geti metið þær takmarkanir og möguleika sem umhverfisaðstæður geta skapað þegar kemur að endanlegri hönnun mannvirkisins. Hönnuðurinn þarf þannig m.a. að hafa þekkingu og skilning á eftirfarandi grundvallaratriðum í jarðtækni:

- aukið álag á undirstöðuna í tengslum við byggingu mannvirkisins eykur spennur í jarðveginum og getur leitt til sigs eða brots í jarðveginum.
- minnkun álags á tilteknum stað eins og við skurðgröft eða gerð skeringar getur orsakað skrið eða brot á aðliggjandi svæðum.
- uppgröftur eða skeringar í jarðvegi eða bergi geta hindrað eða aukið vatnsrennsli í jarðlögum og þannig haft áhrif á umhverfið og jafnvel stöðugleika jarðvegs á svæðinu.
- aukinn þrýstingur vegna byggingar fyllingar á veika undirstöðu getur orsakað sig eða brot þegar loft og vatn þrýstist út eða jarðvegur þjappast saman.

Takmarkaðar eða ófullnægjandi jarðvegsrannsóknir eru oft taldar vera orsök vandamála og kostnaðarauka við jarðvegsframkvæmdir og vegagerð. Góðar og ítarlegar jarðvegsrannsóknir eru taldar vera forsenda til þess að ná öruggum, hagkvæmum og umhverfisvænum lausnum.

3.1 STAÐLAR OG VERKLYSINGAR – EUROCODE

Á undanförunum árum hefur verið unnið að samræmdum stöðlum á flestum sviðum á vegum Evrópusambandsins. Ísland hefur tekið upp þessa staðla og er Vegagerðin, eins og aðrir framkvæmdaraðilar, bundin að því að fara eftir Evrópustöðlum (Eurocode).

Um er að ræða staðla sem fjalla um vega- og brúagerð, fyrir boranir í laus og föst jarðlög, sýnatöku og efnisrannsóknir. Einnig er skilgreint hvernig skal metið hvort líkur verði á ysjun í jarðskjálftum.

Staðlarnir sem hér um ræðir og hafa tekið gildi á Íslandi eru:

- Eurocode 7. Geotechnical design- Part - 1: General rules
- Eurocode 7. Geotechnical design- Part - 2. Ground investigation and testing.
- Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance- Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects.

Þjóðarviðaukar Íslands við þessa staðla eru að mestu eins og norsku staðlarnir.

Eurocode 7 – Part 1 hefur þó hvað mest áhrif á efni þessara leiðbeininga

Vegna staura og staurareksturs er stuðst við norsku reglurnar í Peleveiledningen. Útgáfu 3 frá 2005. NGF og Den Norske Pelekomité.

Vegagerðin hefur þróað verklýsingu fyrir vega- og brúagerð er nefnist Alverk 95. Misræmi getur verið á milli verklýsingarinnar og EC7 og 8. Bent er á að EC 7 og 8 eru réttþærri en Alverk 95 og því þarf að bera staðlana saman við Alverk 95 lagfæra misræmi ef það er til staðar

Í stöðlunum EC 7 og 8 er skilið á milli regla um grundvallar atriði (Principles Rules) og almennt notástand (Application Rules).

Principles, táknuð með **P**, taka til:

- almennra ákvarðana og skilgreininga sem ekki má breyta.
- krafna og reikniaðferða sem ekki má breyta.

Í öllum Eurocode stöðlunum gildir að greinar merktar P (Principles) aftan við númer greinarinnar tákna að viðkomandi ákvæði sé skilyrði í staðlinum nema annað sé sérstaklega tekið fram.

Tillögur (Application Rules) eru dæmi um almennar reglur sem uppfylla áðurnefnd skilyrði og er greinin þá án sérstakrar merkingar.

Norska Vegagerðin hefur gefið út leiðbeiningar fyrir vega- og brúargerð. eru þessar handbækur og leiðbeiningar aðlagðar að EC 7. En þær eru:

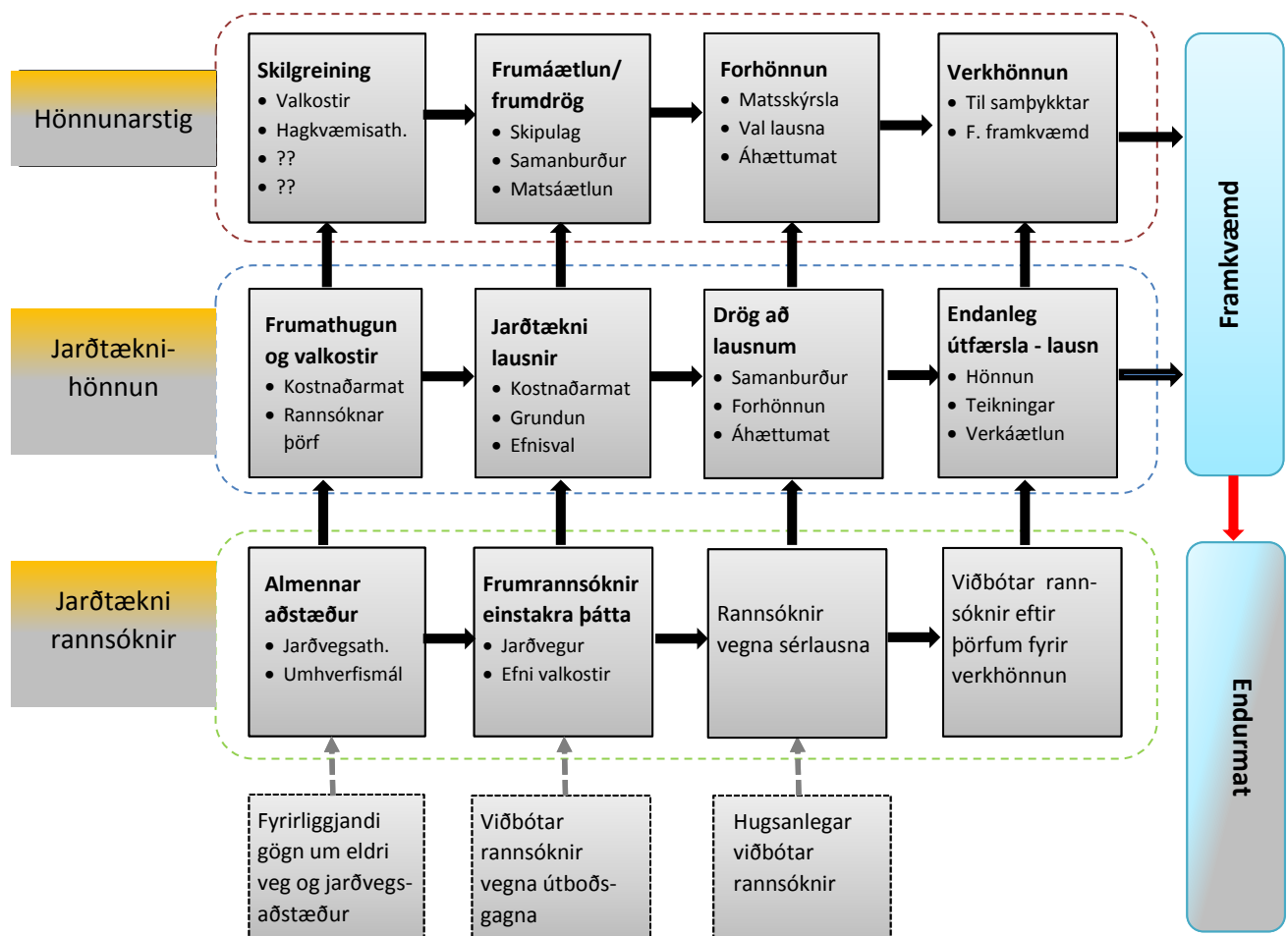
- Statens vegvesen. Laboratorieundersøkelser. Normaler. Håndbok R210, 2016.
- Statens vegvesen. Feltundersøkelset. Retningslinjer. 08.97. Håndbok 015.
- Statens vegvesen. Håndbok V220 Geoteknikk i vegbygging. 2010.
- Statens vegvesen. Håndbok V221 Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger 2012
- Statens vegvesen. Håndbok V222 Geoteknisk felthåndbok 2010
- Statens vegvesen. Håndbok V223 Geoteknisk opptegning
- Statens vegvesen. Vegbygging. Normaler. Håndbok N200, 2014.

Leiðbeiningarnar frá Norsku vegagerðinni virðast bæði ítarlegar og notendavinsamlegar. Mælt er með að norsku leiðbeiningarnar verði notaðar sem ítarefni og ALVERK 95 verði aðlagð að þeim þar sem það á við. Sjá nánar <http://www.vegvesen.no/fag/Publikasjoner/Handboker/handboker-etter-hovedtema>

4 HÖNNUNARFERLI OG JARÐTÆKNIRANNSÓKNIR

Hönnunar vegar er yfirleitt langtíma verkefni og oftar en ekki er ferlinu skipt í nokkra verkhluta sem geta náð yfir langt tímabil. Eðlilegt er að jarðtæknihönnun fléttist inn í hönnunarferlið strax frá upphafi og þróist með öllum stigum hönnunar.

Það getur verið mismunandi eftir eðli verks, formi undirbúningsvinnu og útboðs hvernig jarðtæknirannsóknir fléttast inn í undirbúnings- og hönnunarferlið, en á eftirfarandi tveim myndum eru sýnd dæmi um hvernig þessi tengsl gætu verið.



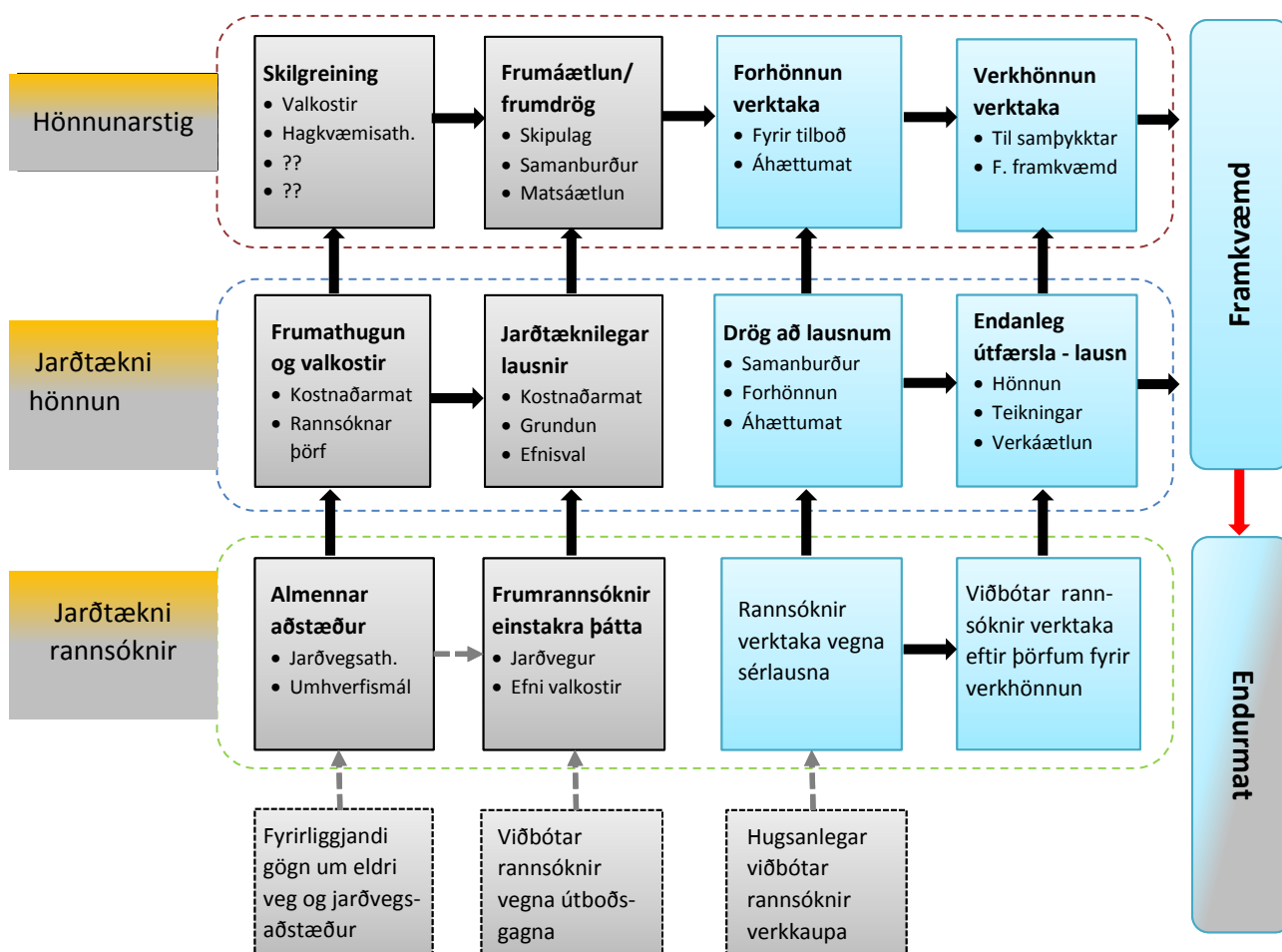
Mynd 4-1. Samspil jarðtæknirannsókna við hönnunarferlið fyrir hefðbundið eiginverk, hönnun, útboð og framkvæmd. Grátt er á ábyrgð verkkaupa en blátt á ábyrgð verktaka.

Undirbúningur framkvæmdar getur tekið langan tíma og í stærri verkum getur gerð skýrslu um umhverfismat framkvæmdar verið ráðandi um undirbúningsstímann en auk tíma við gerð gagna getur ferlið frá tilkynningu um framkvæmd til afhendingar framkvæmdaleyfis tekið um tvö ár.

Tafla 4-1, ferli mats á umhverfisáhrifum framkvæmda

	Undirb.	Meðh. Skipulst og kynning	Samtals
Kynningargögn			
Tilkynning um framkvæmd			
Matsáætlun		4 vikur	
Frummatsskýrsla	1–1½ ár	8 vikur	
Matsskýrsla	24 vikur	4 vikur	
Framkvæmdaleyfi		4 vikur	um 2 ár

Jarðtæknirannsóknir geta aldrei orðið jafn ítarlegar og það sem kemur fram við framkvæmdina sjálfa, því er lögð áhersla á að samhliða framkvæmdum fari fram endurmat á niðurstöðum rannsókna. Það er mikilvægt að þetta ferli sé virkt frá upphafi framkvæmda og að áhættugreining sé opin og virk á meðan á framkvæmd stendur.



Mynd 4-2. Samspil jarðtæknirannsókna við ferlið fyrir alútböð þ.e.a.s. boðin er út hönnun, rannsóknir og framkvæmd í einum pakka. Grátt er á ábyrgð verkkaupa en blátt á ábyrgð verktaka.

4.1 JARÐTÆKNIRANNSÓKNIR - VALKOSTIR

Þegar um er að ræða lítil verk, t.d. fáfarna vegi geta verið takmörk fyrir því hversu mikið er hægt að leggja í jarðtæknirannsóknir og getur það ráðist af fjármunum og þeim tímatakmörkunum sem eru á verkinu. Velja má á milli margra aðferða og er nauðsynlegt að velja heppilega blöndu aðferða fyrir hvert og eitt svæði til þess að tryggja að öll gögn sem þörf er á til greiningar skili sér.

Tafla 4-2, Valkostir í jarðtæknirannsóknum, sérstaklega þar sem um er að ræða mó í veglínun.

Aðferð	Lýsing	Athugasemdir
Skrifborðs athugun	Gögnum safnað saman á skrifstofu, svo sem; kort, skráningar, skýrslur, gallar í vegakerfinu á svæðinu, viðhaldssaga og einnig upplýsingar um svipuð verk, staðbundin eigindi mós, niðurstaða annara verka o.s.frv.	Frum bakgrunnsrannsókn fyrir verkið til þess að safna saman öllum gögnum sem þörf er á til þess að hefja skipulag verksins. Nauðsynlegt
Heimsókn á svæðið og línán gengin	Sjónræn athugun á fyrirhuguðu framkvæmdarsvæði framkvæmd af reyndum tæknimanni með reynslu af vegagerð um mýrlendi.	Hagkvæm, ódýr athugun til þess að gera sér grein fyrir vinnusvæðinu og þeim erfiðleikum sem gætu komið fram. Nauðsynlegt
Jarðvegsborun	Stálstöngum þrýst niður í móinn til þess að finna út dýpi lagsins. Einhversskonar borun þarf alltaf að fara fram í verkum þar sem um mó er að ræða.	Einföld, skilvirk leið til þess að fá fram dýpi mósins eða sem afstilling fyrir aðrar athugunar sem hafa ekki rask með í för, svo sem jarðsjá. Framkvæmd af reyndum höndum getur þessi aðferð einnig gefið einfaldar vísendingar um eigindi mósins (vatnsinnihald og skúfstyrk). Nauðsynlegt
Sýnataka	Jarðtæknirannsókn sem hefur í för með sér rask og felst í að ná í jarðvegssýni til þess að meta þykkt og eigindi vegarins, fyllingar og mólaga.	Kjarnataka og sýnataka geta einnig verið nytsamlega gögn til þess að afstilla og styðja við aðrar aðferðir. Alltaf skyldi taka einhver sýni.
Jarðsjá, <u>GPR</u>	Aðferð sem nýtur vaxandi hylli við jarðvegsrannsóknir þar sem um mó er að ræða. Sérstaklega nytsamleg við að meta þykkt mismunandi efna í vegi og einstakra jarðlaga í undirstöðu áður en ráðist er í framkvæmdir vegna breikkunar og styrkingar.	Jarðsjármyndir geta sýnt greinilega mörk milli vegar, mós í undirstöðu og klappar og geta einnig verið nytsamlegar til þess að fylgjast með langtíma hegðun vegar með nákvæmni. Mælt með
Stafræn mynd-upptaka	Stafrænu upptaka af sýnilegum innviðum vegarins tengd lengdarmælingu frá sameiginlegu viðmiði eða með GPS.	Stafrænu upptökuna má einfaldlega nota sem formlega upptöku eða greina hana frekar, t.d. afvötnun eða mat á skemmdum. Mælt með
Jarðborun (Penetration Testing)	Svipað og jarðvegsborun en með oddi sem mælir hlutfallslegan stífleika þeirra laga sem hann fer í gegnum.	Nytsamleg þegar mólög og önnur laus jarðefnalög eru undir veginum.
Falllóð	Mælitæki sem ekki veldur raski sem líkir eftir álagi undan þungu ökutæki á yfirborð vegar	Notað við mat á burðarþoli og mismunandi jarðvegi í undirstöðu. Mælt með við breikkunum vega og endurbyggingu
Hröðunamælar/ Hrýfímælingar	Skynjarar á ökutæki sem meta hrýfi vegarins gegnum niðurbeygju og titring	

4.2 FLOKKUN MANNVIRKJA

Hvað varðar áhættu og mikilvægi þá geta ófyrirséðar breytingar haft mismikil áhrif eða afleiðingar. Það getur verið breytilegt eftir eðli verka og hönnunarstigi þeirra hvernig þau eru flokkuð með tilliti til *nauðsynlegra* rannsókna. Áður en hafist er handa við jarðtækni rannsóknir ætti að forflokka mannvirkni með tilliti til þarfa á rannsóknum. Ekki er alltaf þörf á ítarlegum og dýrum rannsóknum og mörg minni verk standa ekki undir slíkum kostnaði, það þarf því alltaf að leita að hagkvæmstu lausn. Í EC-7 er gert ráð fyrir þrem flokkum, 1. 2. og 3. flokk með tilliti til umfangs framkvæmdar. Einnig þarf að huga að skipulagi rannsókna, t.d. hvað þarf að liggja fyrir áður en framkvæmdir hefjast og hvað hægt er að gera samhliða framkvæmdinni sbr. „Eftirlitsaðferðina“ sjá nánar á bls. 19.

Í jarðtæknihönnun eru stærstu óvissuþættirnir yfirleitt aðrir en í hefðbundinni mannvirkjahönnun. Þekking á jarðtæknilegum aðstæðum út frá rannsóknum og hvernig þær geta breyst við framkvæmdina er mjög mikilvæg og því ber að leggja áherslu á vönduð vinnubrögð, virkt eftirlit og endurmat.

Flokkur 1, grundun við einfaldar aðstæður, ætlað fyrir frekar lítil og einföld mannvirki;

- þar sem hægt er að uppfylla lágmarks kröfur með hefðbundnum og stöðluðum jarðtækni rannsóknum,
- með óverulegri áhættu fyrir menn og mannvirki,
- ekki sé um að ræða útgröft neðan við grunnvatnsborð.
- undirstaða getur verið lítið sprungin klöpp án virkra sprungna
- undirstaðan er getur verið frostpolið efni, mól eða grófara, lagt á klöpp eða aðra berandi undirstöðu og þjappað.

Flokkur 1 nær eingöngu yfir aðstæður sem eru þekktar úr sambærilegum verkum og staðlaðar rannsóknir duga vegna hönnunar og byggingar mannvirkis.

Flokkur 2, grundun við venjulegar aðstæður, nær yfir hefðbundnar gerðir undirstöðu og mannvirkja þar sem ekki er um að ræða neina óvenjulega áhættu eða sérstaklega erfiðar aðstæður vegna undirstöðu eða álags.

Undirstaða er klöpp, t.d. storkuberg, setberg eða móhella.

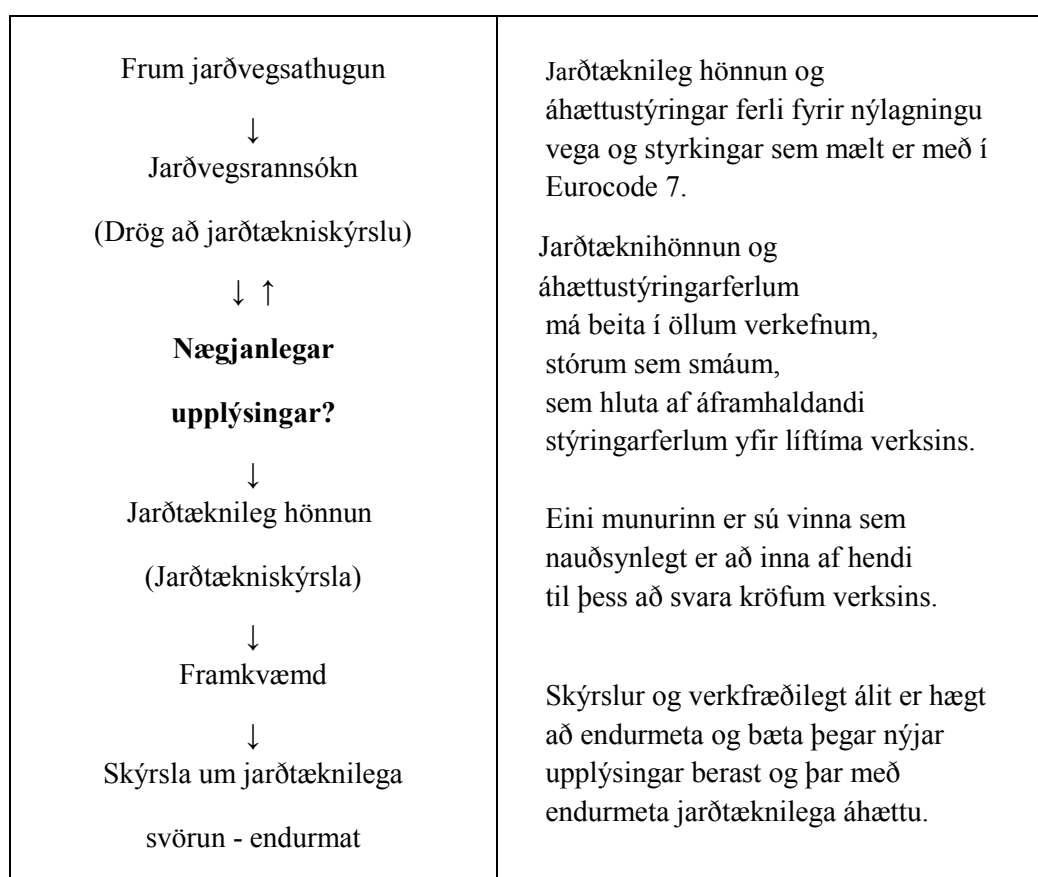
Flokkur 3, grundun við flóknar aðstæður.

5 JARÐTÆKNILEG ÁHÆTTUSTÝRING OG ÁHÆTTUMAT

Jarðvegsaðstæður eru breytilegar og geta valdið áhættu í verklegum framkvæmdum.

Í flestum verkefnum mun alltaf ríkja einhver óvissa um jarðvegsaðstæður þrátt fyrir umfangsmiklar rannsóknir og góðar hönnunaraðferðir.

Það er því mikilvægt að lögð sé áhersla á jarðtæknilega áhættustýringu vegna framkvæmda, sérstaklega þegar um er að ræða vegi eða mannvirki sem byggð eru á mjúkri undirstöðu eða við aðrar viðkvæmar aðstæður. Með því er hægt að greina jarðtæknilega áhættu áður en vandamál skapast og gera nauðsynlegar ráðstafanir til að stýra áhættunni og afstýra hættu. Eurocode 7 staðallinn mælir með eftirfarandi jarðtæknilegri hönnun og áhættustýringu við nýlagningu vega og styrkingu eldri vega:



Mynd 5-1. Ferli jarðtæknilegrar áhættustýring og áhættumats samkvæmt Eurocode 7

Hlutverk jarðtæknilegrar áhættustýringar (GRM) og skráningu jarðtækni áhættu (GRR) á meðan á verkefni stendur er hægt að sýna í eftirfarandi flæðiriti.

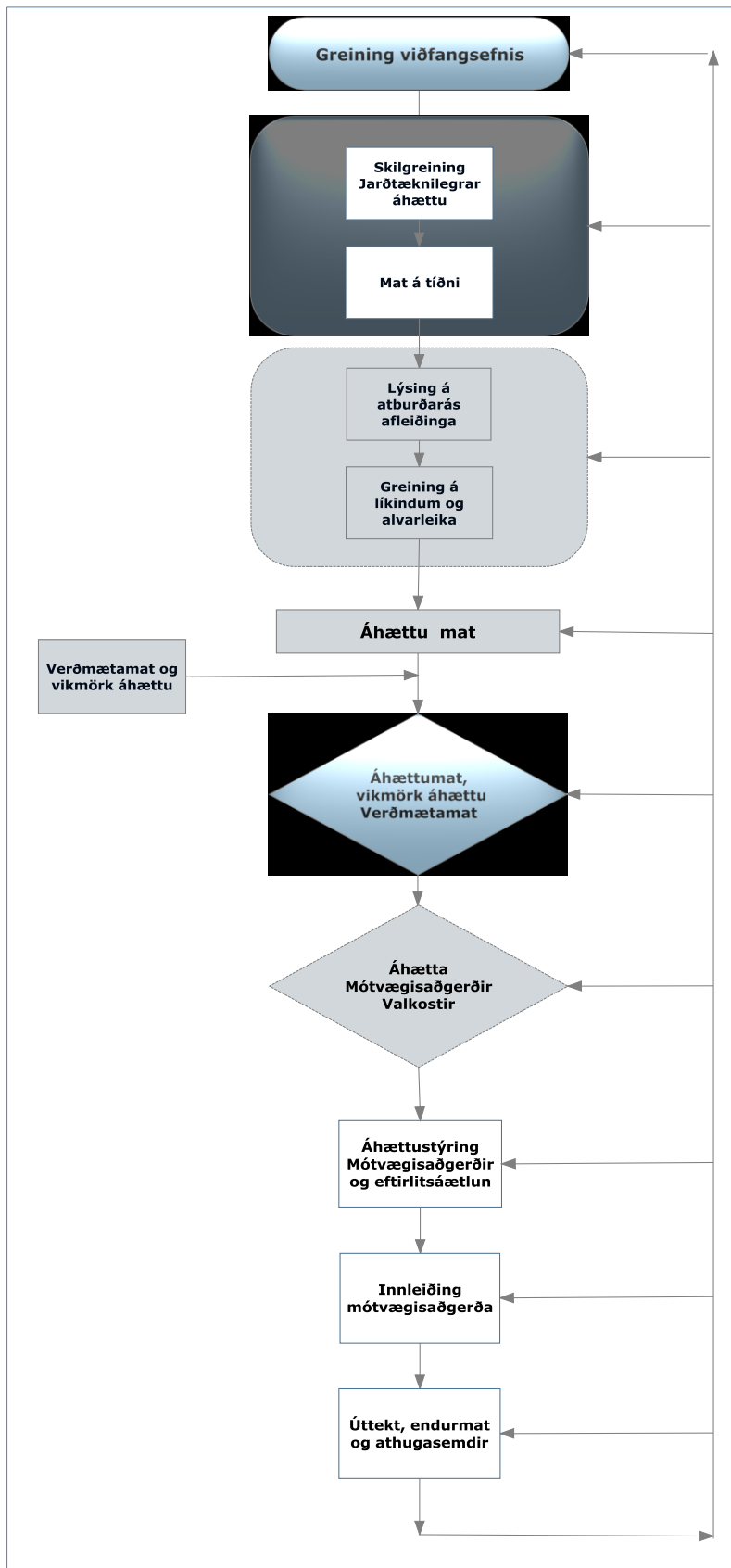
Tafla 5-1. Tengsl verkefnastigs við ferli rannsókna og hönnunar ásamt áhættustýringu og skýrslugerð.

Stig verkefnis	Rannsóknir	Hönnunarstig	Stýring jarðtæknilegrar áhættu	Skýrslugerð
Skipulag	Undirbúningur, heimildarkönnun	Skrifborðsathugun		Ekki krafa um skýrslu, Drög að rannsóknarþörf og arðsemismati.
Frumhönnun	Forrannsóknir	Skrifborðsathugun, Vettvangsskoðun, boranir og gryfjur	Lögð drög að GRM og GRR	Drög að GIR, skýrsla um jarðtæknirannsóknir ekki krafa. Rannsóknarþörf og kostnaðarmat.
Verkhönnun	Hönnunarrannsóknir/ sérlausnir	Skipulag og framkvæmd rannsókna skv. EC7.	Uppfærsla GRR	GIR, Framsetning og mat á öllum jarðtæknilegum upplýsingum.
Hönnun og útboð	Viðbótar rannsóknir vegna skilgreininga Jarðtæknilegra aðstæðna.	Jarðtæknileg hönnun sbr. EC7 á grundvelli upplýsinga í GIR.	Uppfærsla GRR	GDR, skýrsla um jarðtæknilega hönnun.
Verktími	Eftirlits athuganir og tilfallandi rannsóknir	Sannreyna áráðanleika og nákvæmni aðstæðna. Eftirlitsmælingar til að sannreyna hönnunarforsendur, mikilvægt ef <i>Eftirlitaðferðin</i> er notuð.	Uppfærsla GRR	GDR uppfærð ásamt áætlun um eftirlit og mælingar. Viðbót þar sem gert er grein fyrir niðurstöðum eftirlits.
Eftir framkvæmd		Úttektarmælingar til að sannreyna að mannvirkid sé í samræmi við áætlanir og hönnunargögn. Viðhald á mælitækjum.	Uppfærsla GRR	Samantekt úr GDR sem inniheldur kröfur um eftirfylgni, mælingar, búnað og viðhald búnaðar. Afhendist verkkaupa.
Notkun	Viðhald		Uppfærsla GRR	

GRM
GRR
GIR
GDR

Geotechnical Risk Management
Geotechnical Risk Register
Ground Investigation Report
Geotechnical Design Report

Jarðtæknileg áhættustýring
Jarðtæknileg áhættuskráning
Skýrsla um jarðtæknirannsóknir
Skýrsla um jarðtækni hönnun



Áhættumat og greining

Áhættumat skal að öllu jöfnu gert á hönnunarstigi en er þó opið ferli. Þannig getur áhættumat alltaf komið til enduskoðunnar hvort sem er í hönnunar- eða framkvæmdarferli og jafnvel eftir að framkvæmdum líkur.

Góð samskipti milli verkaupa, hönnuðar og verktaka eru nauðsynleg til að framkvæmd gangi upp. Þegar allir aðilar vinna saman á gagnsæjan hátt eru meiri líkur á að áhætta greinist og hugað sé að henni nógu snemma til að hægt sé að setja fram ráðleggingar, eða koma varaáætlunum í gagnið.

Jarðtæknileg áhætta getur orðið eftir að framkvæmdum við tiltekið mannvirki er lokið t.d vegna einhverra umhverfisbreytinga, breytinga á grunnvatni, álagi eða öðrum aðliggjandi þáttum. Það er því mikilvægt að eigandi mannvirkis, umsjánaraðilar og skipulagsyfirköld, haldi ávalt vöku sinni við allar breytingar á umhverfisþáttum.

Mynd 5-2, Ferli jarðtæknilegrar áhættustýringar og áhættumats.

5.1 SKRÁNING JARÐTÆKNILEGRAR ÁHÆTTU

Skráning jarðtæknilegrar áhættu er lykillinn í stýringu hennar. Skráning tryggir að hugað er að allri áhættu á skipulegan hátt og gerir auðveldara að taka á áhættuþáttum. Hver áhættuþáttur er greindur í fjögur stig:

- Áhættan greind
- Lagt mat á líkurnar á hún eigi sér stað og áhrifin sem verða ef slíkar aðstæður skapast
- Stýring áhættunnar
- Ábyrgðaraðilar og aðgerðaaðilar tilnefndir

Áhættustuðull = Líkur X Áhrif

Góð samskipti milli verkaupa, hönnuðar og verktaka eru nauðsynleg til að framkvæmd gangi upp. Þegar allir aðilar vinna saman á gagnsæjan hátt eru meiri líkur á að áhætta greinist og hugað sé að henni nógu snemma til að hægt sé að setja fram ráðleggingar, eða koma varaáætlunum í gagnið.

Tafla 5-2, dæmi um skráningu áhættuþátta

Verkþáttur	Áhætta	Líkur	Stýring	Ábyrgð	Áhættustuðull

Tafla 5-3, Reiknilíkan: Líkur x afleiðingar, byggt á AS 4360 Risk management (Nýja Sjáland).

ÁHÆTTUMAT						
Áhættustigs reiknilíkan (Byggt á AS 4360)						
Reiknilíkan þetta má notað til að ákvarða áhættustig hverrar hættu						
AFLEIÐING af atviki	Hverjar eru líkurnar á atviki?					Áhersluröð ráðstafana
	Mjög líklegt	Líklegt	Hugsanlega	Varla hugsanlegt	Nánast útilokað	
Hamfarir Dauðaslys	Mjög hátt 25	Mjög hátt 24	Mjög hátt 22	Hátt 19	Hátt 15	Er hægt að útiloka hættunar eða fjarlægja hana ?
Mjög alvarleg Varanlegt líkams- og heilsutjón	Mjög hátt 23	Mjög hátt 21	Hátt 18	Hátt 14	Meðal 10	Er hægt að færa veglínuna og minnka áhættu ?
Alvarleg Alvarlegt slys	Mjög hátt 20	Hátt 17	Hátt 13	Meðal 9	Lágt 6	Er hægt að vakta hættusvæði og bregðast við tilfallandi sigi eða landbroti ?
Töluverð Læknisaðstoðar er þörf	Hátt 16	Meðal 12	Meðal 8	Lágt 5	Lágt 3	Er hægt að vakta hættusvæði og bregðast við tilfallandi sigi eða landbroti ?
Minniháttar Minniháttar áverkar	Meðal 11	Meðal 7	Lágt 4	Lágt 2	Lágt 1	Er hægt að vakta hættusvæði og bregðast við tilfallandi sigi eða landbroti ?

5.2 FRUM JARÐVEGSATHUGUN OG DRÖG AÐ JARÐTÆKNISKÝRSLU

Frum jarðvegsathugun er fyrsta stigið í ferlinu. Í því er hugað að jarðtæknilegri áhættu mismunandi framkvæmdakosta og ráðleggingar settar fram. Dæmigerð drög að jarðtækniskýrslu geta innihaldið útlístan á:

- Þeim skrifborðsrannsóknnum sem fóru fram; þ.e. athugun á jarðfræðikortum og heimildum, loftmyndum, námum og framleiðslustöðum steinefna, fyrri jarðvegsathuganir, flóðaskráningar, mengun á landi, o.s.frv.
- Heimsóknnum á svæðið; þ.e. fyrsta ganga um svæðið, formfræði jarðmyndana og jarðfræði kortlagning, jarðvegsboranir, prufuholur, sýnatökur og prófanir, afvötnun/straumfræði o.s.frv.
- Jarðtæknilegar aðstæður – jarðvegur á svæðinu og jarðtæknilegir eiginleikar hans, mikilvægi jarðfræðilegra myndana, grunnvatnsaðstæður, o.s.frv.
- Samanburður á kostum og áhættu.
- Ráðleggingar varðandi mælitæki til eftirlits með framkvæmdasvæði og hversu oft á að lesa af þeim.
- Skráning á jarðtæknilegri áhættu.

5.3 JARÐTÆKNIRANNSÓKNASKÝRSLAN (GEOTECHNICAL INVESTIGATION REPORT)

Skýrslan yfir jarðtæknirannsóknir er aðal túlkunartól jarðtæknilegra aðstæðna fyrir stærri framkvæmdir og inniheldur nákvæma útlístan á öllum þeim athugunum og rannsóknnum sem fram hafa farið ásamt jarðtæknihönnun. Skýrslan byggir á frumskýrslunni og þar skal uppfærð skráning á jarðtæknilegri áhættu, ef vart hefur orðið við ný áhættuatriði, ásamt mótvægisaðgerðum sem hægt er að grípa til. Í grundunarrannsóknaskýrslunni er gerð grein fyrir öllum rannsóknnum.

Kröfur

- (1) **P** Niðurstöðurnar frá jarðtækni rannsóknnum skal sameina í jarðtæknirannsóknarskýrslu sem skal verða hluti af jarðtæknihönnunarskýrslunni sem er lýst í 3.4.
- (2) **P** Það ber að vísa til NS-EN 1997-2 um upplýsingar um notkun af rannsóknastofu- og feltprófum til að ákveða jarðtæknilega efnisstuðla.
- (3) Jarðtæknirannsóknarskýrslan á venjulega að innihalda eftirfarandi:
 - Lýsingu af öllum þekktum upplýsingum um jarðtækni þar með talið jarðfræðilegar aðstæður og önnur áhugaverð gögn sem henta.
 - Jarðtæknilegt mat á upplýsingum með tilvitnun í forsendur sem mynda grundvöll á túlkun niðurstaðna úr prófunum.

Upplýsingarnar er hægt að setja fram sem heildstæða skýrslu eða aðskilda hluta.

5.3.1 Framsetning á jarðtæknilegum upplýsingum

(1) **P** Framsetning á jarðtæknilegum upplýsingum skal innihalda:

- Upplýsingar frá öllum rannsóknum á framkvæmdasvæði og rannsóknastofu.
- Framsetning af þeim aðferðum sem eru notaðar til að gera rannsóknir á framkvæmasvæði og próf á rannsóknastofu.

Framsetning á niðurstöðum skal grundvallast á prófniðurstöðum sem lýst er í NS-EN 1997-2.

(2) Til viðbótar við ofangreint skal skýrslan innihalda eftirfarandi upplýsingar, ef það á við:

- Nafn allra ráðgjafa og undirverktaka.
- Markmið og umfang jarðtæknirannsókna.
- Verktími sem jarðtæknirannsóknir á framkvæmdasvæði og vinna á tilraunastofu var framkvæmd innan.
- Vettvangsskoðun á öllu framkvæmdarsvæðinu með sérstakri áherslu á eftirfarandi:
 - fyrirfinnst grunnvatn,
 - byggingar í næsta nágrenni,
 - framkvæmdir í grjót og lausefna námum,
 - óstöðug svæði,
 - erfiðleikar þegar grafið er fyrir undirstöðum og grunni.
- Saga framkvæmdarsvæðisins.
- Jarðfræði framkvæmdarsvæðisins, þ.m.t. sprungur.
- Tiltækar loftmyndir.
- Reynsla íbúa af svæðinu.
- Upplýsingar um jarðskjálfta á svæðinu.
- Aðferðir við sýnatöku, flutninga og geymslu sýna.
- Tegund rannsóknartækja sem eru notuð.
- Stilla upp í töfluformi magni af vinnu á framkvæmdarsvæði og á tilraunastofu og lýsingu á athugunum á svæði sem var gerð af stjórnanda felt vinnunnar þegar rannsóknirnar stóðu yfir.
- Niðurstöður mælinga á grunnvatnsyfirborði í borholum á meðan á framkvæmdum stendur og síðar í vatnsþrýstingsmælum eftir að vinnu lýkur.
- Stilla saman lýsingu á borkjörnum, þar með talið myndir af kjörnunum með lýsingu af lagskiptingum byggt á lýsingum úr borun og niðurstöðum frá rannsóknastofuprófunum.
- Athugun á hvort radon sé til staðar eða hvort talið sé að það geti hugsanlega fundist.
- Mælingar á hættu á frosti í jörð.
- Flokkun og lýsing á niðurstöðum frá svæðis- og rannsóknastofuprófunum er í viðauka.

5.3.2 Mat á jarðtæknilegum upplýsingum

(1) **P** Mat á jarðtæknilegum upplýsingum skal innihalda eftirfarandi, ef það á við:

- Fara yfir niðurstöður í á framkvæmdarsvæði og á rannsóknastofu. Hugsanlegar takmarkanir á gögnum (t.dæmis of fáar, eiga ekki við, ófullnægjandi eða ónákvæmar). skal bent á og fjallað um. Aðferðin við sýnatöku, flutning og geymsla á sýnum skal metin þegar niðurstöður prófana eru túlkaðar Niðurstöður úr prófum sem falla langt utan eðlilegra marka skal meta ítarlega til að ákveða hvort þær eru misvísandi eða tilheyra sér fyrirbrigðum sem þarf að taka tillit til við hönnunina.
- Fara yfir niðurstöðum á ákvörðun á jarðtækni stuðlum.
- Hugsanleg tillaga um nauðsynlega rannsóknarvinnu með athugasemdum sem skilgreina þörfina fyrir þessa aukavinnu. Slíkri tillögu skal fylgja nákvæm áætlun um viðbótar rannsóknirnar sem á að framkvæma með sérstakri tilvitnun í spurningar sem ætlunin er að svara.
- Lýsing á rannsóknaraðferðumaðferðum, bæði á framkvæmdasvæði og á rannsóknarstofu.

Framsetning á niðurstöðum skal grundvallast á prófniðurstöðum lýst í NS-EN 1997-2.

(2) Til viðbótar skal mat á jarðtæknilegum gögnum fjalla um eftirfarandi, ef það á við.

- Framsetning í töflum og grafísk úrvinnsla á á rannsóknargögnum í hlutfalli við þörf verkefnis
- Dreifniritsem lýsa breytileika á svæðinu og dreifingu gagna sem koma helst til greina.
- Dýpt á grunnvatn og árstíðabundnar sveiflur.
- Snið sem sýna lagskiptingu í undirstöðu. Nákvæm lýsing á öllum lögum þar með talið eðlisrænir eiginleikar, samþjöppunareiginleikar og styrktareiginleikar.
- Athugasemdir um óvænt frávikeins og vasa og holrými.
- Breytileika svæði og hugsanleg hópun á framsettum jarðtæknilegum gildum fyrir hvert jarðlag.

Niðurstöður úr jarðtækniskýrslunni (GIR) skýrslunni eru notaðar í jarðtæknihönnunarskýrslunni (GDR). Ef rannsóknirnar eru fullnægjandi getur verkefnið haldið áfram. Þegar niðurstöður rannsókna eru ekki nægilegar má oft nota eftirlits aðferðina (n. Observationsmethoden)

5.4 JARÐTÆKNIHÖNNUNARSKÝRSLA

- (1) **P** Forsendurnar, dagsetningar, reikniaðferðirnar og niðurstöðurnar sem sýna fram á öryggi og notkunarmöguleika skal setja fram í jarðtæknihönnunarskýrslu.
- (2) Yfirgrip og nákvæmni jarðtæknihönnunarskýrslunnar mun verða mjög breytilegt eftir gerð mannvirkis. Fyrir einfalt mannvirki getur ein blaðsíða verið nægilegt.
- (3) Jarðtæknihönnunarskýrslan skal almennt innihalda eftirfarandi atriði með tilvitnanir í jarðtæknirannsóknaskýrsluna (GIR) (sjá 3.4) og til annarra skýrslna sem innihalda fleiri nákvæmis atriði.
 - Lýsing á framkvæmdasvæðum og umhverfisaðstæðum.
 - Lýsing á jarðtæknilegum atriðum.
 - Lýsing á fyrirhuguðu mannvirki, ásamt álagi.
 - Hönnunarforsendur fyrir jarð- og bergeiginleika, ásamt forsendum fyrir vali efnisstuðla ef svo á við.
 - Grein fyrir reglugerðum og stöðlum sem eru notaðir.
 - Grein fyrir hvernig lóðin hentar fyrir áætlað mannvirki og stærð ásættanlegrar áhættu.
 - Grein fyrir jarðtæknilegum hönnunarátreikningum og teikningum.
 - Tillögur að hönnun á undirstöðum.
 - Yfirlit yfir atriði sem þarf að fylgjast með samhliði framkvæmdinni, eða sem krefjast viðhalds og eftirlits.
- (4) **P** Jarðtæknileg hönnunarskýrsla skal, ef við á, innihalda áætlun um eftirlit og vöktun. Atriði sem þarf að vakta samhliða framkvæmdinni eða sem krefst eftirlits eftir að byggingu er hætt, skal greinilega aðgreina og merkja. Þegar eftirfylgni sem er krafist er unnin samhliða framkvæmdina skal niðurstaðan skráð í viðhengi við skýrsluna.
- (5) Í tengslum við stýringu og eftirlit skal jarðtækni hönnunarskýrsla upplýsa um.
 - Markmiðið með hverri röð athuganna og mælinga.
 - Þá hluta af mannvirkisins sem á að fylgjast með og hvar skuli framkvæma athuganir, tíðni mælinga.
 - Aðferðina sem niðurstöður mælinga skulu metnar eftir.
 - Þau mörk sem gert er ráð fyrir að niðurstöðurnar liggja innan.
 - Tíðni eftirlits eftir að framkvæmdum er lokið.
 - Þá aðila sem bera ábyrgð á mælingum og eftirliti, fyrir túlkun á fyrirbyggjandi niðurstöðum og viðhaldi tækjabúnaðar.
- (6) **P** Útdráttur úr jarðtæknihönnunarskýrslunni sem inniheldur kröfur til eftirlits og viðhalds á mannvirkinu eftir að framkvæmd lýkur, skal send til verkkaupa.

5.5 EFTIRLITS AÐFERÐIN

- (1) Þegar ekki tekst að áætla jarðtæknilega áhættuþætti getur verið hentugt að nota aðferð sem er þekkt sem eftirlits aðferðin (Observational method). Eru hönnunarforsendur sannreyndar samhliða framkvæmd út frá skilgreindum mælingum og niðurstöðum úr þeim.
- (2) Þ Eftirfarandi kröfum skal fullnægt áður en framkvæmd hefst ef ætlunin er að nota eftirlits aðferðina.
 - Samþykkt mörk athugana skulu vera fast ákveðin.
 - Breytileiki athugana skal metin og sýnt fram á að líklegar athuganir verði innan ásættanlegra marka.
 - Gerð skal eftirlits áætlun sem sýnir hvort niðurstöður athugana séu innan ásættanlegra marka.
 - Eftirlitinu skal sinna með athugunum það fljótt og oft að mótaðgerðir séu framkvæmanlegar.
 - Svörunartími tækja og aðferðir við úrvinnslu á niðurstöðum skal vera nægilega hraður miðað við eftirlitskerfið.
 - Áætlanir um mótaðgerðir skulu vera tiltækar og nothæfar ef niðurstöður eftirlitsins sýna athuganir utan ásættanlegra marka.
- (3) Þ Þegar unnið er við framkvæmd skal eftirlit unnið samkvæmt áætlun.
- (4) Þ Niðurstöður mælikerfa skulu metnar í hentugum áföngum og undirbúin aðgerð sett á stað ef mörk mældra hreyfinga hafa náð ákveðnum stærðarmörkum.
- (5) Þ Eftirlitstækjum skal annaðhvort skipt út fyrir ný eða fjölgað ef niðurstöður mælinga eru óáreiðanlegar eða of fáar.

5.6 SKÝRSLA UM JARÐTÆKNILEGA SVÖRUN - ENDURMAT

Skýrsla um jarðtæknilega svörun er formleg heimild um alla þá jarðtæknilegu þætti sem upp kunna að koma við framkvæmd verksins. Hefja á slíka skýrslugerð við upphaf framkvæmda og skal hún innihalda heildstæða útlistun á jarðvegsaðstæðum, því efni og þeirri uppbyggingu sem notuð var, þeim athugunum og prófunum sem gerðar voru, tækjabúnaði, eftirliti, breytingum á hönnun og öllum vandamálum sem fram komu við framkvæmdina.

Skýrslan er hluti af endurmati áætlana og úttekt að framkvæmdum loknum. Skýrslunni ætti að skila til öruggrar geymslu á skjala- eða bókasafni svo hún geti nýst sem þekkingarbrunnur fyrir öll framtíðarverkefni við svipaðar aðstæður.

6 JARÐTÆKNIRANNSÓKNIR FYRIR VEGA- OG BRÚAGERÐ

Ýmsir valkostir eru þegar velja skal rannsóknaraðferð vegna framkvæmda við vegi og brýr. Oft er skynsamleg blanda valkosta hagkvæmasta leiðin. Hér verður gefið yfirlit yfir þá kosti.

6.1 JARÐFRÆÐILEG KORTLAGNING OG LOFTMYNDIR



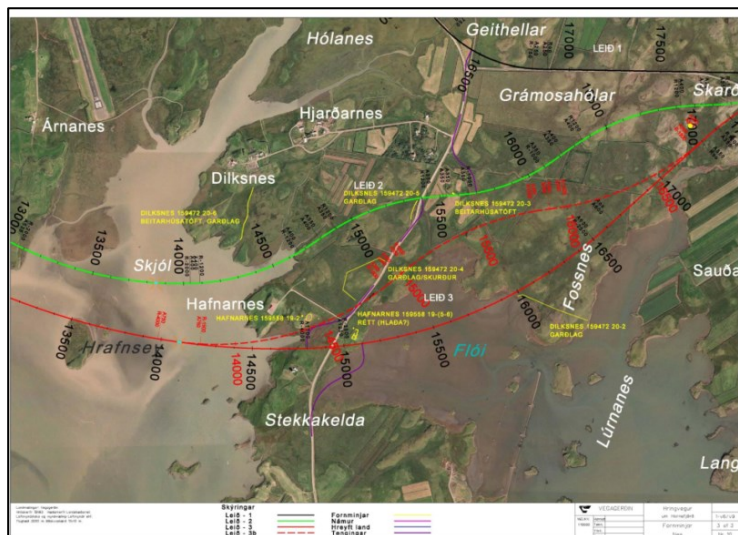
Jarðfræðileg úttekt þarf að liggja fyrir þar sem gerð er grein fyrir jarðmyndunum og jarðvegi á vegsvæðinu. Gert er grein fyrir mismunandi efnum í undirstöðu, mýrar og önnur votlendissvæði eru kortlögð sem og klappir og aðrar jarðmyndanir. Jafnframt þarf að gera grein fyrir vatnasviði svæðisins og hvaða áhrif framkvæmdirnar gætu haft á grunnvatnsstreymi.

Jarðfræðiúttekt ásamt loftmyndum af svæðinu eru nauðsynleg gögn fyrir skipulagningu frekari rannsókna.

Mynd 6-1. Dæmi um kortlagningu votlendis

6.2 SVÆDISGANGA - VETTVANGSKÖNNUN

Heimsókn á fyrirhugað framkvæmdarsvæði og veglínuganga er ein mikilvægasta forathugunin fyrir hvert verkefni. Ýmist er um að ræða svæðisathugun vegna val á veglínu eða nánari athugun á fyrirbyggjandi vegsvæði þegar ætlunin er að endurbyggja núverandi veg með nauðsynlegum

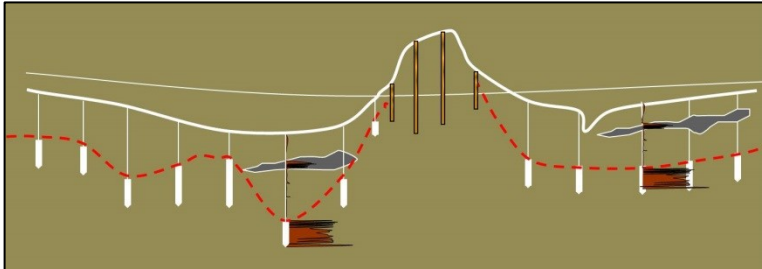


lagfæringum. Teikningar af gamla veginum eða drög að nýrri veglínu er líkanið fyrir verkið og veitir sjónræn skoðun því bestu upplýsingar um vandamál sem líklegt er að upp komi og taka þarf tillit til í hönnun. Skoðun á svæðinu gefur einnig möguleika á sjónrænu mati yfirborðs eigindi undirstöðunnar t.d. skurði, farvegi, neðanjarðar farvegi, yfirborðs landslag, mógrafir, svæði þar sem vatn stendur, svæði með fjálsu vatnsflæði o.s.frv. og meta hvernig hægt sé að gera ráð fyrir þessum mismunandi atriðum í verkinu.

Mynd 6-2. Dæmi um mismunandi veglínur

6.3 BORANIR Í VEGLÍNU

Til þess að afla upplýsinga um þykkt og gerð einstakra jarðlaga í undirstöðu vegar er veglínar yfirleitt boruð á 20 m bili. Þetta á sérstaklega við þar sem farið er um mýrlendi eða aðra mjúka undirstöðu, getur verið gisnara t.d. þar sem farið er um einsleita flóa eða þéttara við breytilegar aðstæður. Sérstakar boranir getur þurft í skeringar og í laust efni og berg.

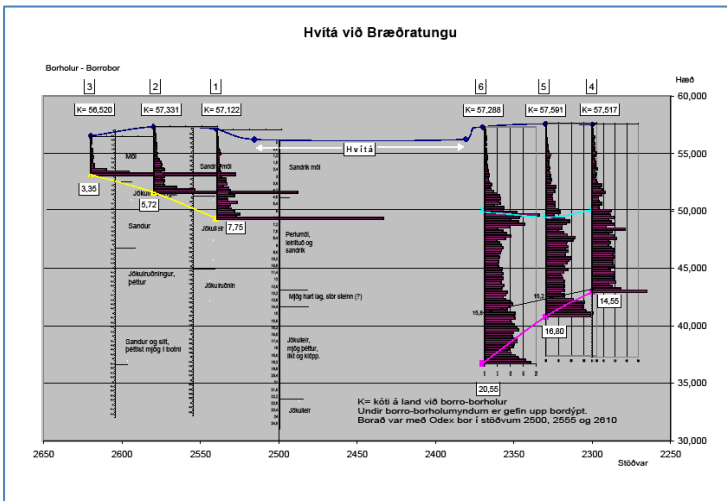


Mynd 6-3. Dæmi um framsetningu rannsóknarhola í veglínunni á langsniði

Það er mismunandi hvaða boraðferðir henta hverju sinni en algengast er að veglínur séu boraðar með snúnings- og þrýstibor þar sem bormótstaðan er teiknuð upp og hægt er að greina vel á milli mismunandi efnisgerða í undirstöðunni.

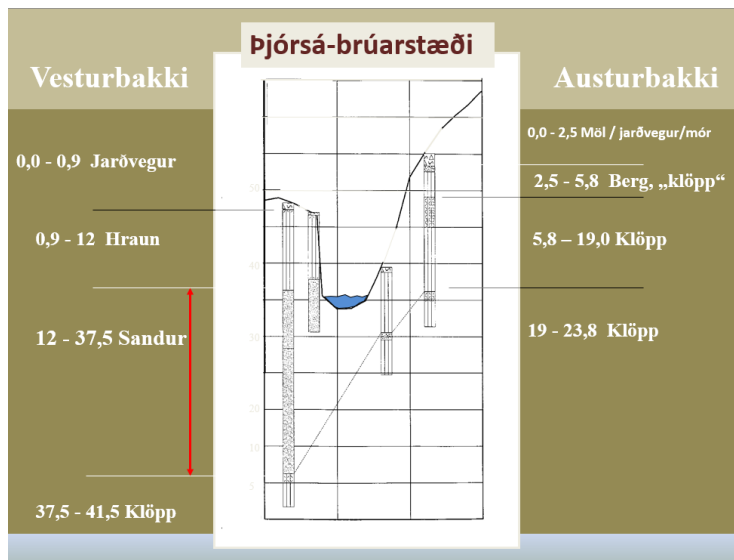
6.4 BORANIR Í BRÚASTÆÐUM

Þegar rannsaka þarf undirstöður fyrir brýr eða önnur stærri mannvirki hefur verið algengast að nota höggbor en slíkir borar voru keyptir frá fyrirtækinu Borros á árum áður og hefur það nafn fest við



Mynd 6-4. Dæmi um framsetningu höggborana í brúarsæði.

aðferðina hér á landi. Það þarf að hafa í huga að allar aðferðir hafa ákveðin takmörk og mismunandi hvað hentar hverju sinni. Höggborun gefur mótstöðu sem hægt er að hafa til hliðsjónar við staurarekstur, en getur stoppað í þéttu efnislagi eða á stórum steinum.



Það getur þurft mismunandi aðferðir til þess að sjá heildar myndina í jarðvegi. Bergborun eða „heildarborun“ getur verið nauðsynleg til þess að komast í gegnum þétt jarðvegslög og finna mýkri lög sem gætu legið dýpra. Hugsanlega þarf að fódra borholurnar sé farið í gegnum laus yfirborðslög og halda þarf borholum opnum.

Mynd 6-5. Dæmi frá Þjorsá, sandur undir hrauni.

6.4.1 Samanburður höggboranna og staurareksturs

Almennt er betri fylgni milli gilda sem leiðrétt hafa verið fyrir þverskurðarflatarmáli en þeim sem hafa verið leiðrétt fyrir yfirborðsflatarmáli.

Vísbendingar eru um að áhrif vatnsþrýstings í holrými fínefnaríkra jarðlaga, orsaki hærrí mótstöðu í borniðurstöðum. Þetta gefur lélegri fylgni milli bor og rekmótstöðu þar sem þessi áhrif eru ekki eins mikil í niðurrekstri staura.

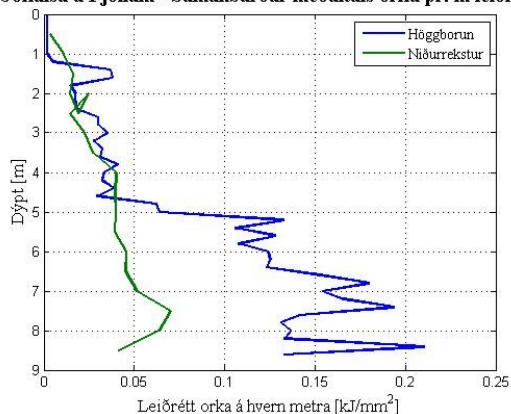
Taka þarf tillit til jarðefna á viðkomandi stað þegar skoðað er mögulega rek dýpt staura, ef mikið er um fínefni er skynsamlegt að bora bæði með snúnings og þrýstiborun ásamt höggborun sökum áhrifa vatnsþrýstings í fínefnaríkum jarðveg.

Með frekari rannsóknum, þar sem fyrir liggja upplýsingar um gerð og samsetningu jarðlaga, væri mögulega hægt að áætla rekmótstöðu stauranna. Eftir leiðréttingu fyrir þverskurðarflatarmáli staura og borstanga ásamt því að taka tillit til áhrifa vatnsþrýstings með tilliti til gerð jarðvegjar.

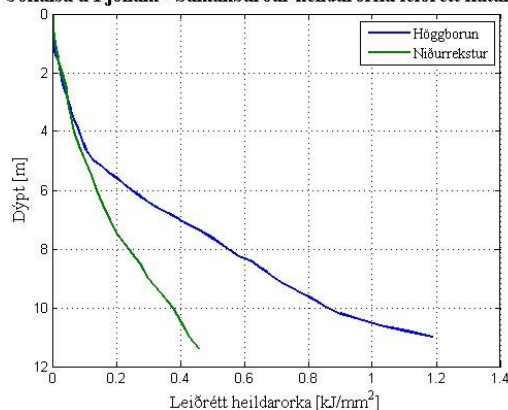
Almennt sýna niðurstöður að hámarks bormótstaða fyrir niðurrekstur staura sé u.þ.b. 85-130 kJ/m við vaxandi bormótstöðu. Þetta á þó ekki við ef um þunnt þétt lag er að ræða.

Dæmi frá Jökulsá á fjöllum:

Jökulsá á Fjöllum - Samanburður meðaltals orku pr. m leiðrétt



Jökulsá á Fjöllum - Samanburður heildarorku leiðrétt flatarmál



Sjá nánar í fskj.

6.5 BORVAGN VEGAGERÐARINNAR

Borvagn Vegagerðarinnar er frá Geomachine og týpan er GM75 GT. Borvagninn er um 3,5 tonn og er búnaðurinn fluttur í 20 feta gám. Tveir bormenn vinna með borinn hverju sinni.

Með borvagninum er hægt að framkvæma eftirfarandi boraðferðir:

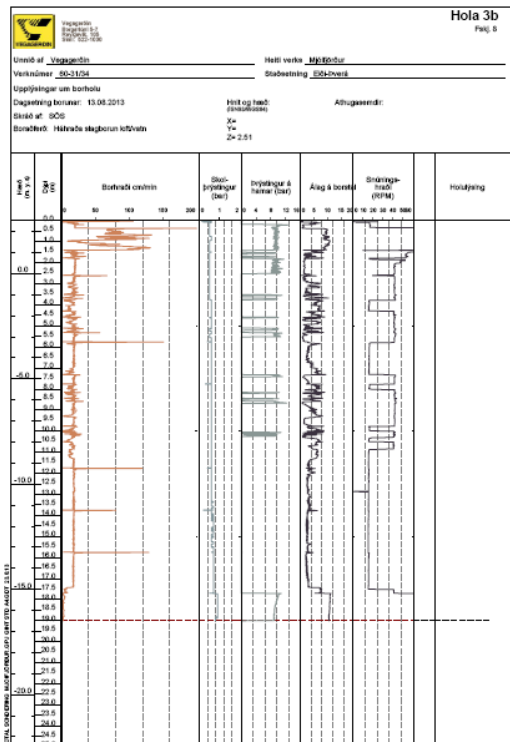
- Snúnings og þrýstiborum
- Heildarborun - Total sondering (norsk aðferð, svipar til JBS)
- CPT-borun í mjúk eða laus jarðefni
- Höggborun (oft nefnt hér Borroborun)
- Sýnataka úr lausum efnu, malarefnum - hreyfð sýni
- Sýnataka úr mjúkum jarðvegi - óhreyfð sýni
- Bergborun
- Kjarnaborun - sýnataka í berg



Mynd 6-7 Geomachine GM75 GT



Mynd 6-8. Nýr borvagn Vegagerðarinnar frá 2012, borar bæði í berg og blautt, með í úthaldinu er yfirleitt loftþessa og vatnstankur.



Mynd 6-9. Geomachine

Borniðurstöður eru skráðar í bortölvu og kemur þar fram t.d. borhraði, bormótstaða á odd, heildar þrýstingur á borstangir, slaghamar og snúningur. Niðurstöður er hægt að færa rafrænt á milli tölva til frekari úr vinnslu, m.a. sévinnslu í forritinu gINT.

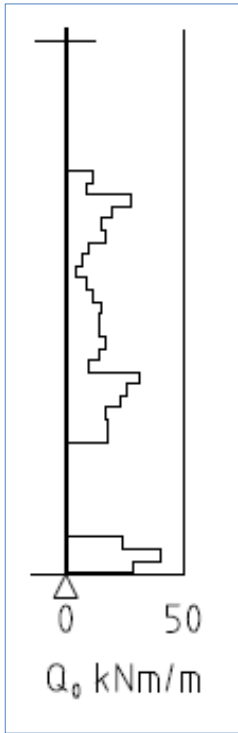
6.6 BORADFERÐIR

6.6.1 Slagborun

Slagborun, t.d. með Cobra bortæki, fellst í að reka niður 25 mm stálstöng með stimpilslætti borvélar og er þá mælt hve hratt stangir ganga niður. Út frá borhraða er lagt mat á þéttleika jarðlaga, en aðferðin er oftast notuð til að mæla dýpt á klöpp eða burðarhæft efni.

6.6.2 Höggborun – Borro - SPT

Höggborun er mikið notuð við mat á rekstrarhæfni staura fyrir undirstöður í brúargerð og er til töluverð þekking á sambandi „Borro“ mótstöðu og reksturs staura í grófkorna efnunum.



Mynd 6-9 bormótstaða

Höggborun getur verið unnin skv. mismunandi stöðlum. Hér á landi hefur verið unnið skv. afbrigði af sænskum staðli þar sem notað er 63,5 kg lóð og 500 mm fallhæð. Sá munur er á að í sænska staðlinum er notaður laus oddur sem er kemur utan á borstöngina og er með 13 mm stærra þvermál en borstöngin. Við sleppum þessum oddi og leiðir það til þess að meira núningsviðnám verður við stöngina og hefur þessi aðferð gefið gott samband við staurarekstur.

Fyrir höggborun með fallhamri (Borro) er 32 mm stálstöng rekin niður með 63,5 kg lóði, sem látið er falla 0,5 m. Út frá höggafjölda er lagt mat á þéttleika jarðlaga og niðurstaðan teiknuð upp ýmist sem fall af fjölda högga á hverja 200 mm eða bormótstöðu Q sbr. eftirfarandi líkingu:

$$Q = ((\text{fallhæð lóðsins} * \text{þyngd lóðsins}) / \text{sig}) * \text{fjöldi högga}$$

$$Q = 0,5 * 0,0635 / 0,2 = 0,15875 * \text{högg (kNm/m)}$$



Mynd 6-10 Höggbor

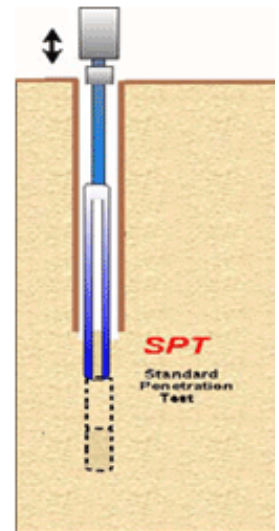
Í SPT borun er sýnatöku sívalningur, 50 mm í þvermál, rekinn niður með 63,5 kg lóði sem fellur 760 mm og mælt hversu mörg högg þarf til að reka sýnatakann niður hverja 150 mm á 450 mm bili, sem síðan er endurtekið með um 1,5 m bili í



Mynd 6-11. Borroborun við ráðhús Reykjavíkur, fallhamar.

borholu eins og nánar er lýst í leiðbeiningum fyrir aðferð, sbr. staðal ASTM 1586-11.

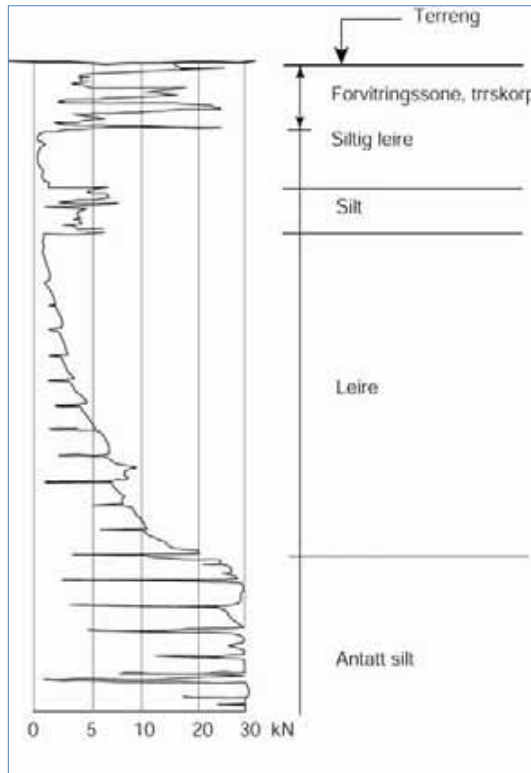
Samanlagður höggafjöldi fyrir síðustu 300mm kallast „standard penetration resistance“ (N).



Mynd 6-12 SPT próf

6.6.3 Snúnings- og þrýstiborun

Snúnings- og þrýstiborun er framkvæmd vökvaknúnum bor í samræmi við norsku handbókina nr. 280.



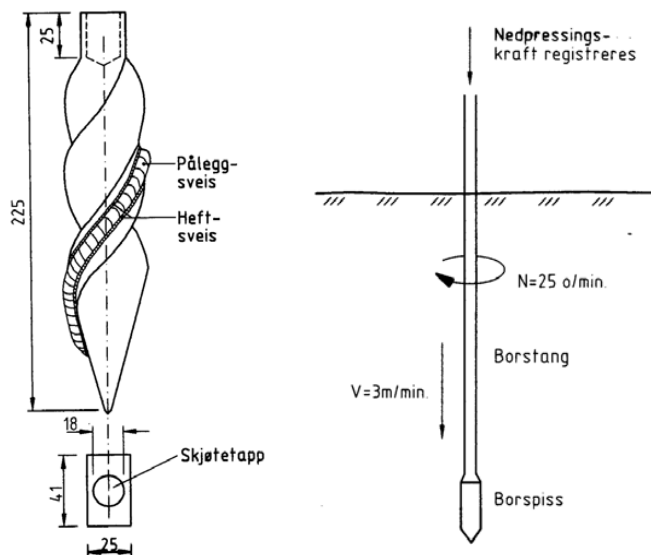
Borstöngum, 36 mm, er þrýst niður með stöðugum hraða, 3 m/min og snúið um leið 25 sn/min. Mældur er sá þrýstingur sem þarf til þess að þrýsta stöngunum niður og þrýstgurinn teiknaður upp sem fall af dýpt. anna



Mynd 6-13 Snúning- og þrýstiborun

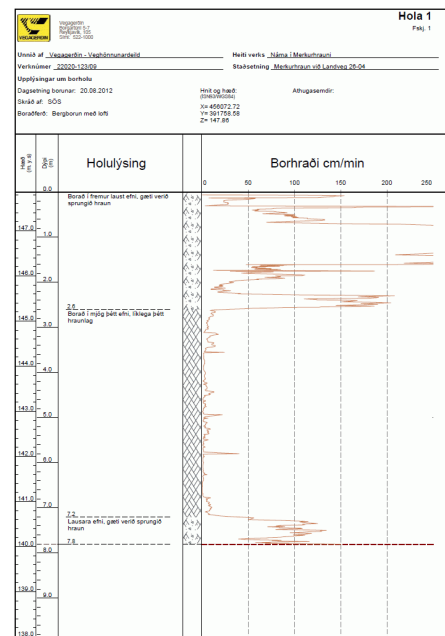
Mynd 6-14 Gamli bor Vegagerðarinnar, Geonor AB2

Hægt er að greina vel á milli finna og grófra malarefna og mótstöðulítilla fínkorna efna. Mór er nánast mótstöðulaus og hentar þessi aðferð til borunar í mýri og önnur mjúk eða fínkorna efni. Þessi aðferð hentar illa í grófa mól og þar sem eru stórir stakir steinar í jarðveginum.



Mynd 6-15 Oddur fyrir snúning- og þrýstiborun

Mynd 6-16 Snúning- og þrýstiborun



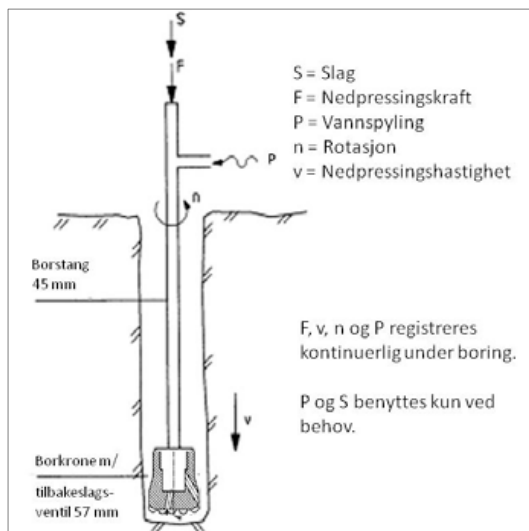
6.6.4 Heildarborun – Total sondering

Boraðferðin sameinar aðferðirnar *Snúnings-* og *þrýstiborun* og *bergborun*. Notaðar eru 45 mm borstangir með 57 mm bergborskrónu með einstreymingloka. Við borun í mjúk efni er stillt á snúnings- og þrýstiborun og borstöngum er þrýst niður á jöfnum hraða 3 m/min og jöfnum snúningshraða 25 snúninga/min.

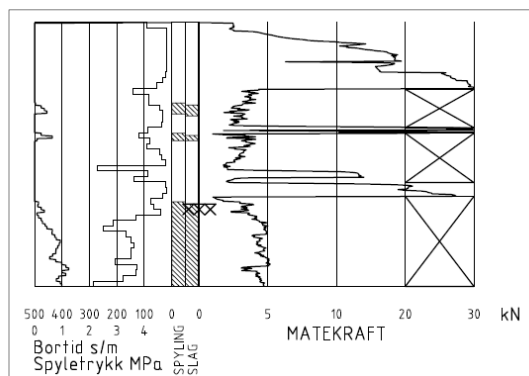


Mynd 6-17 Borstöng 44x2000mm R-32, nipill, kúla, gormur, oddur 57mm R-32(norsk) síðan slagstykki og nipill skrúfaður í odd.

Þegar komið er í fast lag þá er fyrst aukið við snúningshraðann 50-70 sn/min, dugi það ekki til er stillt yfir á slög og vatnsskolun. Borkrafturinn F (kN) er skráður og sýndur hægramegin á línuritinu en vatnsþrýstingur, slög og bortími er sýnt á vinstri hluta línuritsins.



Mynd 6-18 Skema af heildarborun



þrýstiborun gengur mun hraðar og með gamla bornum

Mynd 6-19 Heildarborun, bormótstaða

Óvissa um vinnslutíma getur verið nokkur, aðstæður eru oft mjög breytilegar, bæði í jarðvegi sem borað er í sem og klöppinni. Flutningurinn á milli hola getur líka verið breytilegur eftir því hvernig umhverfið er.

Borhraði er því eitt og síðan eru ýmsir snúningar sem þarf við til að flytja sig á milli hola. Aðgengi að vatni hefur mikið að segja þegar borað er í klöpp, en skolun með vatni er nánast skilyrði í bergborun. Hægt er að blása með lofti en þegar notað er loft, þá dettur borhraðinn niður og oddarnir slitna á mjög stuttum tíma, en þeir kosta um 75.000,- kr/stk þannig að við borum helst ekki í berg nema með vatni.

Borun í jarðveg, 3 m/mín

Borun í klöpp er mjög breytileg:

- algengt að miða við 10 til 20 cm/mín
- í harða klöpp austur við Hornafjörð 3 cm/mín.
- víða á Suðurlandi 30–40 cm/mín.

Flutningur á milli hola fer mikið eftir aðstæðum,

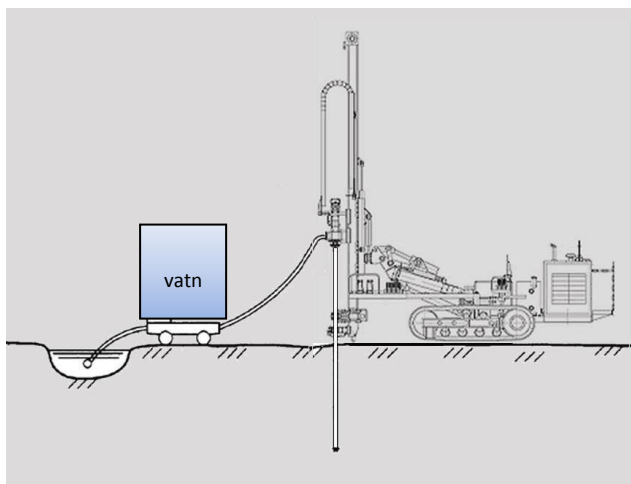
- gróflega áætlaður meðaltími er 2–3 tímar á grunna holu með heildarborun, t.d. 3– 5 m í jarðveg og 1 m í klöpp.

Borun eingöngu niður á fastan botn með snúnings- og

gat þetta orðið 50 holur á dag.

6.6.5 Bergborun - slagborun - staðfesting á klöpp

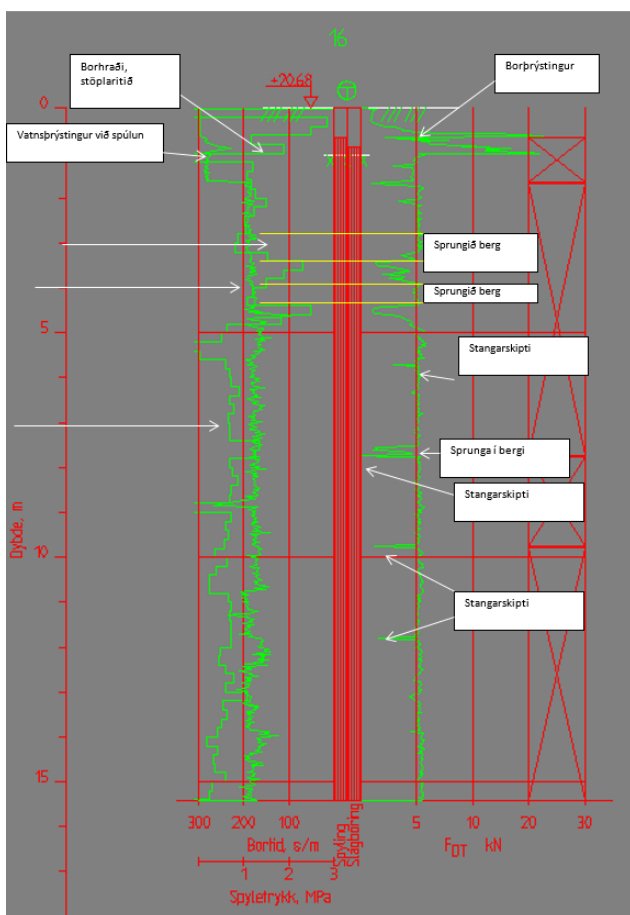
Þegar staðfesta þarf gerð og legu klappar er notuð hraðvirk slagborun, „bergborun“.



Heildarborun, n. Total sondering. Snúnings og þrýstiborun 25 sn/min þar til borstöng stöðvast þá er snúningur aukinn í vatn 50–70 sn/min. Við aukna fyrirstöðu er högghamarinn settur í gang og borað í gegnum fasta fyrirstöðu, t.d. stóran stein, eða staðfest er klöpp. Þegar staðfest er klöpp þá fer það eftir aðstæðum og mannvirki sem rannsakað er fyrir. Norskar reglur gera ráð fyrir 3 m borun í klöpp til þess að staðfesta að svo sé.

Mat á berggæðum

Þegar komið er í berg í „heildarborun“ er skipt yfir á forstillt form fyrir bergborun en þá er



snúningshraði aukinn, vatnsdæling-spúlun, sláttur og stöðugur kraftur ca. ~5-10kN á niðurfærslunni.

Eftirfarandi atriði eru síðan sýnd á teikningu og metin:

- Borhraði "Nedpressingstid"
- Niðurpressa "Matekraft"
- Spúlun "Spyling"
- Sláttur "Slagboring"

Það sem gefur einhverjar upplýsingar um berggæðin er borhraðinn, þ.e.a.s. tíminn sem það tekur að pressa stöngina í gegnum bergið. Það er því mikilvægt að öll önnur atriði í boruninni séu stöðluð og haldist stöðug við borunina.

Ferillinn sést á stöplariti á vinstri ás (mælikvæði s/m). Ef stökk kemur fram í þessum ferli, ef bortíminn fellur á sama tíma og mótstaðan, sem á einnig að vera stöðug, þá er það vísbending um sprungu eða sprungið berg. Þetta sést á mynd á ca. dýpi 3,8-4,5m (greinilegt) + ~7,5m (minna greinilegt).

Mynd 6-20 Bergborun – bormótstaða.

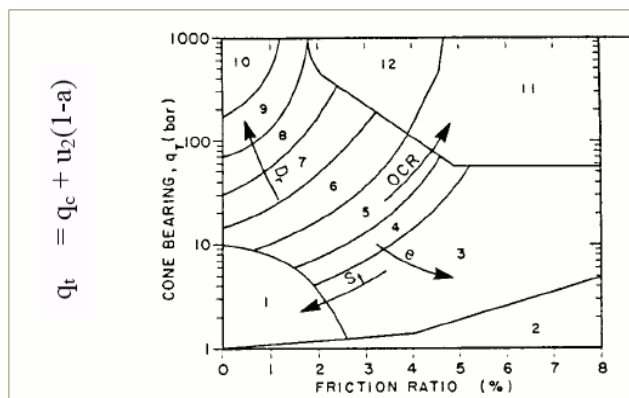
Önnur skörð í borþrýstingsferlinum eru grunsamlega nærri stangarskiptum sem gjarnan koma fram á ferlinum, það er því gott að þekkja sitt bortæki til að geta metið niðurstöðuna rétt.

6.6.6 Þrýstiborun – CPT

CPT borun er stöðluð boraðferð, sem felst í að reka mæliodd niður í jarðveg með stöðugum hraða, 20 mm/sek. Oddurinn er þannig útbúinn að utan um neðri hluta hans er hulska þar sem mælt er við nám jarðvegs við stöngina við rekstur, fyrir framan þessa hulsu er sía eða opin gróp til þess að mæla vatnsþrýsting og fremst er keilulaga oddur og mældur er sá þrýstingur sem oddurinn verður fyrir í rekstri. CPT-prófi er nánar lýst í hb-280 og ASTM D3441-5.

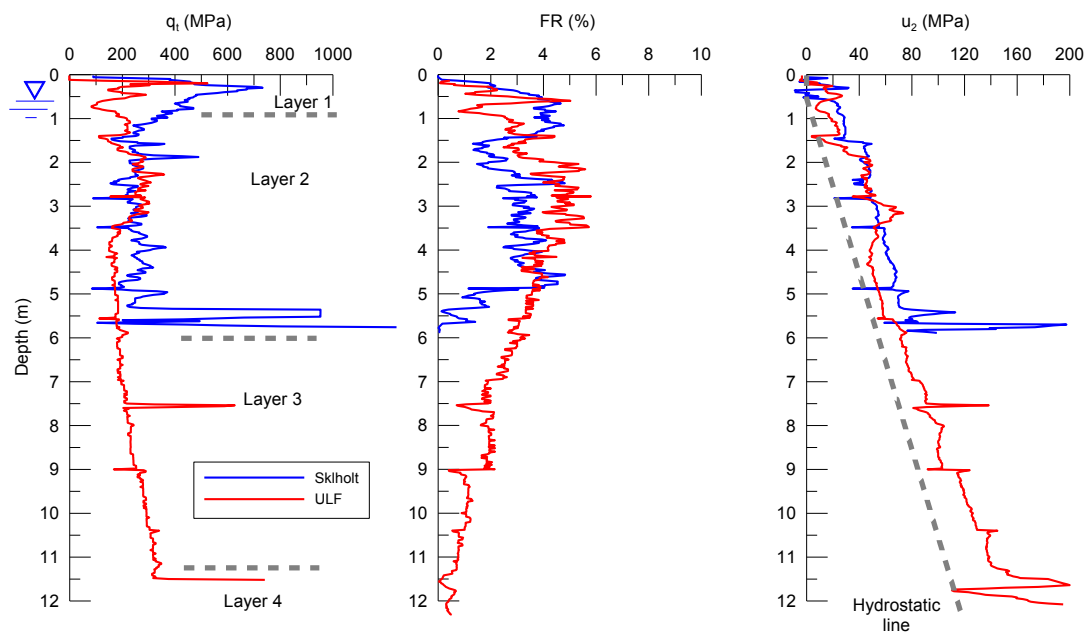


Mynd 6-21 CPT – borstöng með minnikanna, oddur.



Mynd 6-22 CPT – flokkunarkerfi Robertssons.

Sett hefur verið fram flokkun á jarðefnum út frá mæligildum CPT prófana og er m.a. gerð grein fyrir slíkum flokkunarkerfum í bókinni *Cone Penetration Testing* eftir Tom Lunne og JJM Powell.



Mynd 6-23 Niðurstöður CPT prófunar í mýrarjarðvegi við Skálholt og Úlfarsfell

6.6.7 Kjarnaborun, sýnataka úr bergi

Kjarnaborun er framkvæmd með sérstökum háhraðabordrifi, sérútbúnum stöngum og demantskrónu. Skilyrði er að gott aðgengi sé að vatni til skolunnar og kælingar á borkrónu. Vegagerðin á útbúnað til þess að taka 42 mm kjarna úr bergi en aðrar stærðir eru fánlegar.



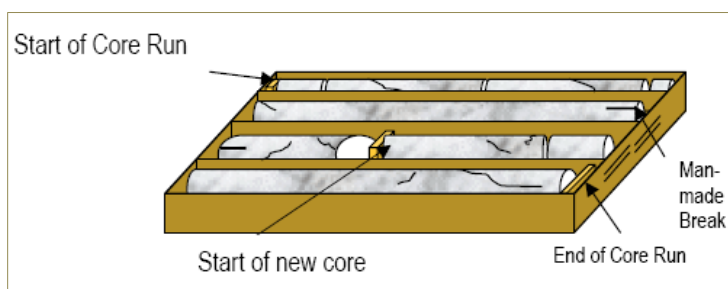
Mynd 6-24 Búnaður fyrir kjarnaborun – toppstíkið, borstangir, króna og innri hólkar.



Mynd 6-24 Þórður með fyrsta kjarnann.

Fyrsti kjarninn var tekinn með GM75 þegar hann var prufukeyrður í Hafnarfirði í lok maí 2012.

Borstöngin er úr áli og ekki má setja tóng eða borklemmu á álstöngina, taka verður á stálhlutanum þegar stangir eru festar eða losaðar.



Mynd 6-25 Kjarnakassar nauðsynlegir til varðveislu kjarna.

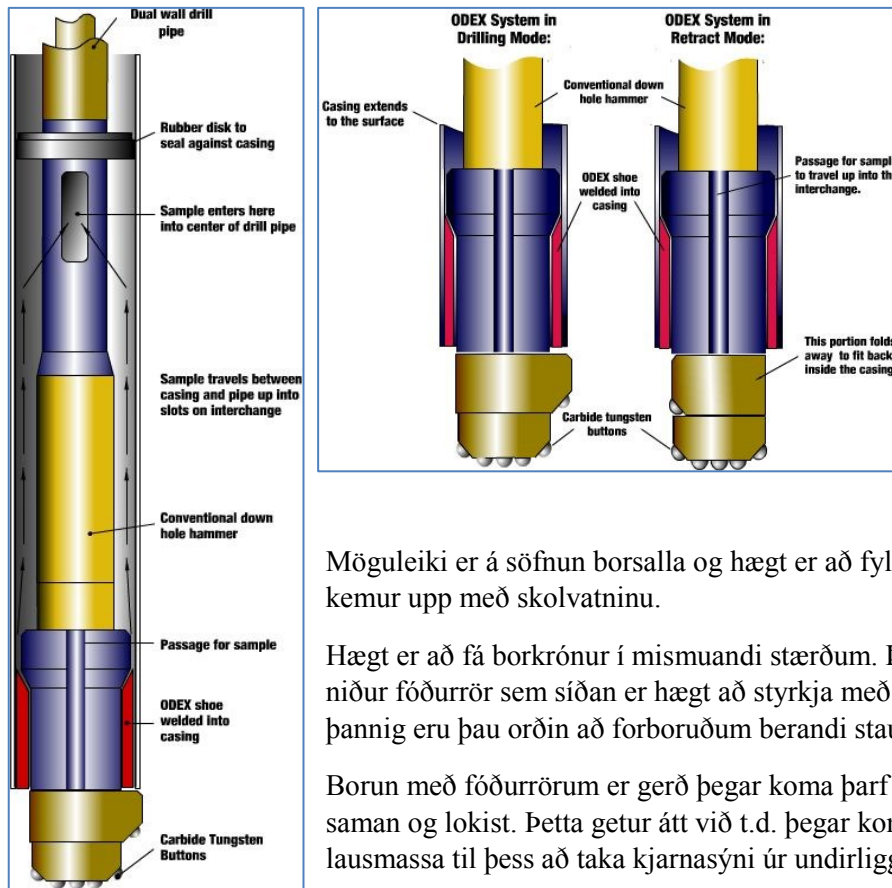
Við kjarnatöku er kjörnum raðað í sérútbúna kjarnakassa og þeir fluttir þannig til varðveislu og frekari skoðunnar á rannsóknarstofu.



Mynd 6-26 Vatn og vönduð vinnubrögð.

6.6.8 Borun með fódurrörum - Odex

Odex aðferðin er mikið notuð þegar borað er í gegnum laust efni og niður í berg, eða almennt þegar fódra þarf borholuna svo hún falli ekki saman.



Mynd 6-27 Odex kerfið, útslúanlegir oddar

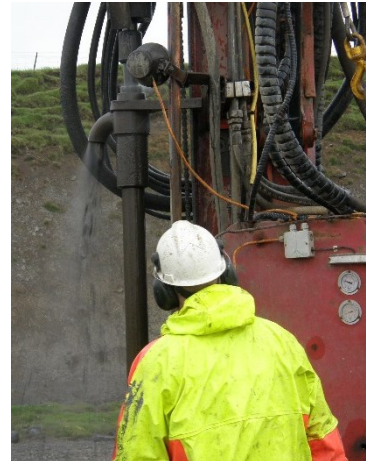
Odex aðferðin hefur þann kost að þegar borað er, fer efri krans á borkrónunni út og borar í fulla breidd fódurrörsins. Þegar borstálið er dregið upp er því fyrst snúið þannig að borkrónan falli saman og er þá hægt að draga hana upp úr fódurrörinu.

Möguleiki er á söfnun borsalla og hægt er að fylgjast með sallanum sem kemur upp með skolvatninu.

Hægt er að fá borkrónur í mismuandi stærðum. Þannig er t.d. hægt að bora niður fódurrör sem síðan er hægt að styrkja með járnbentri steinsteypu og þannig eru þau orðin að forboruðum berandi staurum.

Borun með fódurrörum er gerð þegar koma þarf í veg fyrir að holan hrynji saman og lokist. Þetta getur átt við t.d. þegar komast þarf í gegnum lausmassa til þess að taka kjarnasýni úr undirliggjandi bergi.

Mynd 6-28 Odex kerfið



Mynd 6-29 Bormenn Ræktó við Odexborun í brúarstæði við Hvítá. Fódurrörin eru soðin saman og skilin eftir, hægt er að safna salla úr skolvatninu til nánari skoðunar og mats á bergi.

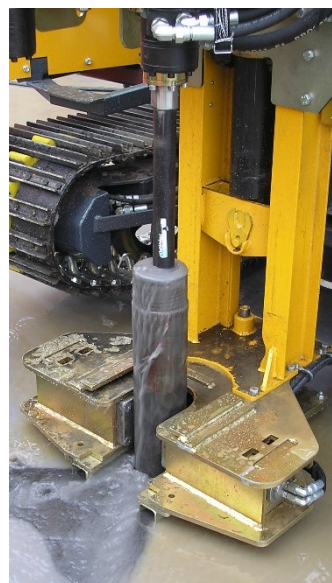
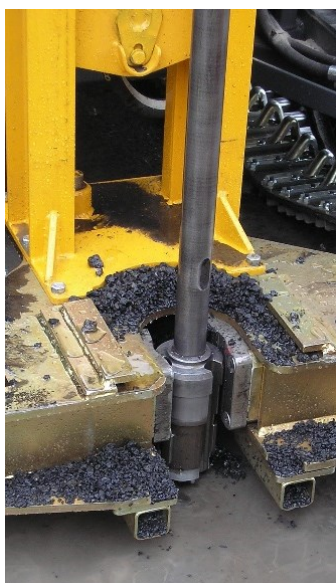
6.6.9 Borun með fódurrörum - MIT

MIT-aðferðin frá Mitsubishi er notuð við fódrun á borholum eins og odex, en hér er ytri krónan soðin föst við fyrsta fódurrörið og síðan læsist borhausinn við ytri krónuna. Hægt er að fá borhousa í mismunandi útfærslum og stærðum en Vegagerðin notar 114 mm fódurrör sem eru skrúfuð saman. Í grunnum holum er rörin síðan dregin upp aftur eftir notkun. Þessa aðferð er t.d. hægt að nota við fódun borhola þegar taka þarf kjarna úr undirliggjandi bergi. Einnig við niðurstetningu vatnshæðarmæla; innsetningu steypufylltra staura eða innsetningu stálröra.



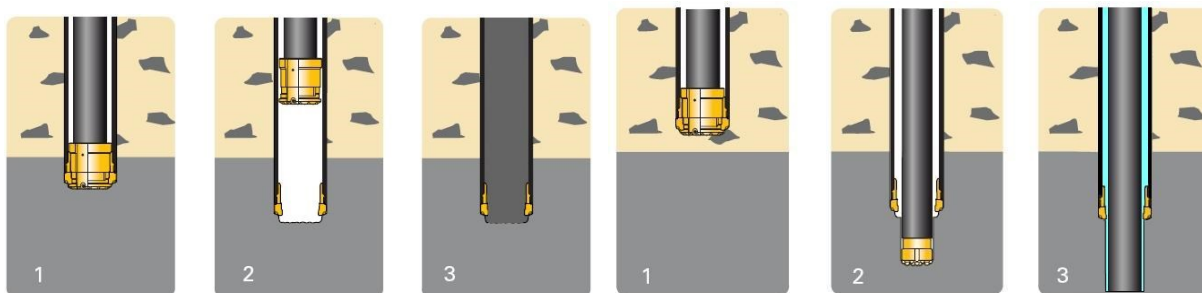
Mynd 6-30 Ytri króna og borhaus.

Ytri krónan er soðin föst við fódurrörið, innri krónan, „borhausinn“, er skrúfuð við borstöng.



Mynd 6-31 Borhausinn festur á borstöng; fódurrörið stillt af og borhausinn færður niður rörið og læst í ytri krónuna. Fódurrörið borað niður með vatnsskolun.

Borað með fódurrörum, sementsfylltir staurar, stálrör eða vatnshæðamælur.



Installation

1. Borra ned RD-pálen till berg.

2. Dra upp hammare och pilot.

3. Fyll pálen med cement/betong.

1. Borra ned RD-pálen till berg.

2. Borra i berg-dra upp hammare och pilot.

3. Installera stálkärnan.

7 JARÐSJÁR – BYLGJUHRADA- OG BYLGJUBROTSMÆLINGAR

7.1 MÆLINGAR BYLGJUHRADA Í JARÐVEGI

Mæling á hegðun mismunandi bylgna í jarðvegi sem myndaðar eru með álagsgjafa er mikið notuð til að greina jarðlög, þykkt og gerð. Um er að ræða misnuandi aðferðir og getur verið nokkur munur á hvað hentar hverju sinni. Nokkrir aðilar hafa sérhæft sig í slíkum mælingum og má þar m.a. nefna;

- Jarðsjá, Ground Penetration Radar – Verkfræðistofan EFLA
- Endurvarpsmæling (seismic reflection) – Jarðfræðistofa Kjartans Thors (mælingar á sjó)
- Bylgjubrotsmæling (seismic refraction) – ÍSOR, Íslenskar orkurannsóknir
- Skúfbylgjumælingar - SASW-mælingar – Verkfræðideild Háskóla Íslands

7.2 RAFBYLGJUMÆLINGAR – GPR

Jarðsjá eða Ground Penetration Radar er jarðeðlisfræðileg mæliaðferð sem fyrst kom fram um 1960 og hefur mæliaðferð og úrvinnsla verið í þróun síðan. GPR notar hátíðni rafsegulbylgjur, á tíðnisviðinu 10MHz til 1 GHz, sem sendar eru í jörðina og endurvarpið mælt. Í vegagerð er algengast að nota tvö loftnet eða loftnet með tvö tíðnisvið annarsvegar til þess að greina yfirbygginguna og svo lægra tíðnisvið til þess að greina neðri lög og dýpt á klöpp.

7.2.1 Tilgangur

GPR eða Ground Penetration Radar, getur verið mikilvægt tæki til að skilgreina mismunandi jarðlög í undirstöðu mannvirkja eða á fyrirhuguðum byggingasvæðum. Í GPR mælingum greina menn mismun á endurvarpi og sjá því vel dýpt á klöpp en einnig aðra hluti sem koma fram vegna breytingar á efnisgerð og þéttleika svo sem þykktir slitlaga, tómarúm, lagnir og kapla eða lagnir í jörðu sem og hugsanlega gömul mannvirki sbr. fornleifar. Þessar niðurstöður er síðan hægt að nota með öðrum mælingum eins og t.d. laser og falllódsmælingum og fá þannig betri sýn á þær aðstæður sem er verið að rannsaka.

7.2.2 Framkvæmd

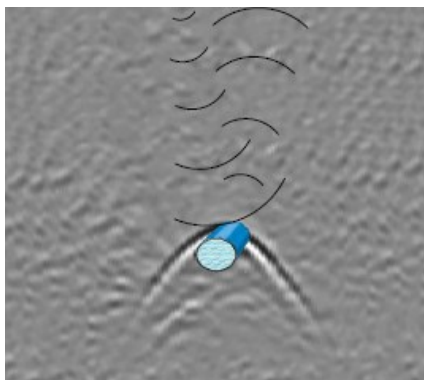
Sendar eru hátíðni rafsegulbylgjur niður í jarðefnið og endurvarpstíminn mældur. Þar sem rafleiðni efna er breytileg endurspeglast breytingar á efnum við mælingarnar. Notuð eru loftnet með mismunandi tíðni eftir því hvað er verið að mæla.



GPR mælingarnar á vegum eru almennt framkvæmdar með tveim loftnetum. Notað er há tengt 400 MHz loftnet, stillt í hæð ca 50 cm ofan við vegyfirborð og annað, jarðlægt, 2000MHz, sem er í körfu nánast við vegyfirborð. Há tengda loftnetið þarf svo að stilla miðað við hæð en mælingarnar er síðan framkvæmdar á venjulegum umferðarhraða.

Mynd 7-1 Loftnetum komið fyrir á bil, verið er að stilla hátengda loftnetið með því að mæla endurvarpið frá málmplötu.

Jarðlæga, há tíðni loftnetið, er notað til þess að mæla efstu yfirborðlögin, t.d. þykktir slit- og burðarlaga í veginum. Hátengda loftnetið, 400 MHz, er notað til þess að mæla dýpri lög, allt niður á 10–15 m dýpt.



Rafbylgjur berast frá loftneti niður í undirbygginguna. Hluti þeirra endurvarpast frá misþéttum lögum eða hlutum í jarðveginum.

- Endurvarpstíminn er skráður.
- Mótstöðumynd er gerð út frá endurvarpstímanum.
- Bylgjuhraðin er hraðari í þurru efni en blautu.
- Niðurstöður frá mismunandi loftnetum fléttaðar saman við úrvinnslu.

Mynd 7-2 Endurvarp frá lögnum.

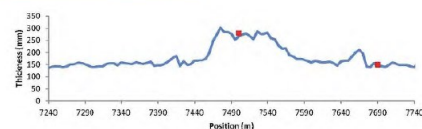
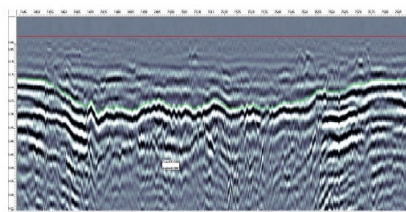
Rafleiðni í jarðvegi hefur áhrif á það hversu djúpt er hægt að mæla með mismunandi loftnetum. Algengt er að nota mismunandi gerðir loftneta til þess að geta mælt mismunandi dýptir og greina breytilegar aðstæður og efni í jarðveginum.



Hægt er að mæla þversnið vega eða einhverja sértæka staði t.d. með því að jarðlæga loftnetið er dregið yfir svæðið eða keyrt á litlum vagni.

Hægt er að greina þykktir þéttra yfirborðslaga.

Þykkt á malbikslagi séð með GPR



Mynd 7-3

Þversniðsmæling með jarðlægu 400 MHz loftneti.

7.2.3 Almennt

Jarðsjár athuganir (GPR) gefa á fljótvirkan hátt myndgreiningu af jarðvegi og það sem í honum má finna án þess að valda raski eða skemmdum á yfirborði. Við rannsóknir á vegum með jarðsjá er yfirleitt notað hátengd og hátíðni loftnet til þess að greina mismunandi lög og þykkt þeirra í yfirbyggingu vegarins. Þegar meta þarf jarðveg í dýpri lögum er notað jarðlægt loftnet og með lægri tíðni.

Jarðsjáathugun hentar sérstaklega vel í þurru sandi með mældýpt allt að 20 m eða meira. Í vatnsmettuðu silti eða leir takmarkast mældýptin við 1–3 m sem er þó enn á mælisviði almennar vegbyggingar.

Mælingar undir vatnsborði er erfiðar og í sumum tilfellum óframkvæmanlegar.

Frekari upplýsingar um núverandi notkun jarðsjár, GPR, má m.a. finna NCHRP skýrslu nr. 255 um „Ground Penetrating Radar for Evaluating Subsurface Conditions for Transportation Facilities (Morey 1998)“.

Í nýlegum útfærslum á jarðsjár eru notaðar breytilegar tíðnisveiflur til að greina hluti á mismunandi dýpi og í mismunandi gerðum jarðvegs.

Í annari útfærslu er sameinuð notkun há tengds loftnets með jarðlægu loftneti til þess að mæla á umferðarhraða samtímis vegyfirborðið og efsta hluta vegarins og út frá því er greindur breytileiki mismunandi efna í mismunandi dýpt undir veginum

7.2.4 Kostir og gallar GPR

KOSTIR

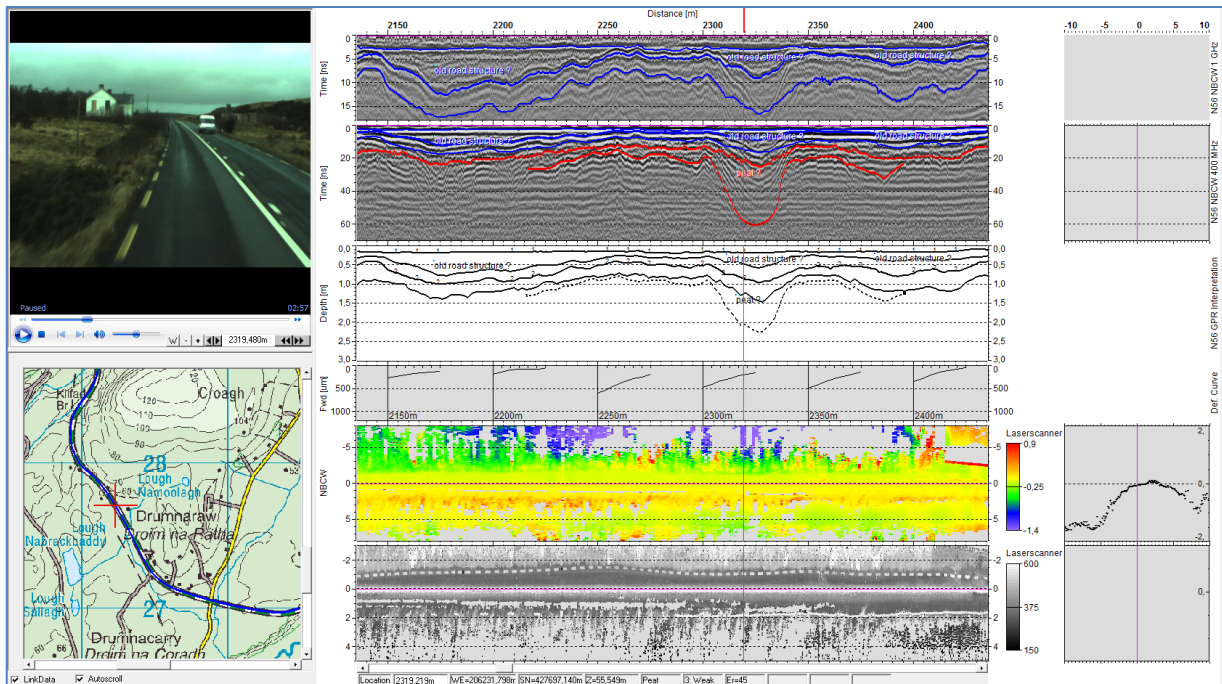
- Hraði: 2 – 80 km/h (1–50 mph) & einfalt í notkun
- Mismunandi loftnet gefa möguleika að mæla mismunandi upplausn og breytilega dýpt.
- Gefur samfellda mynd af jarðlögum, óslitin mæligögn
- Sporlaus mæling – ekkert rask

GALLAR

- Mat og stundum erfið túlkun
- Gæti þurft umferðastjórnuna
- Takmörkuð dýpt í mettuðu fínafnaríku efni
- Erfitt í blautum mýrum

7.2.5 Samþætting mælinga GPR, laser og FWD við myndatöku

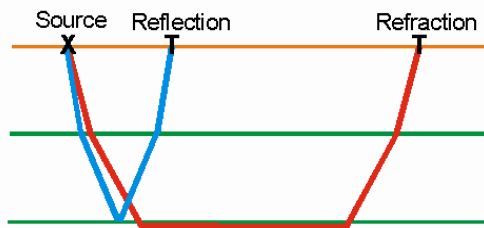
Hægt er að samtengja mismunandi mælingar og myndatöku þegar niðurstöður eru skoðaðar og getur hönnuður eða t.d. sá sem vill kynna sér gerð og ástand vegar sem hefur verið mældur, séð allar niðurstöður á einum skjá og staðsetningu á korti.



Mynd 7-4 Úr Roadex verkefnum Vegir á mýrlendi, Írland. Mæliniðurstöður og úrvinnsla í RoadDoctor

7.3 SEISMISKAR MÆLINGAR, ENDURVARP EÐA BYLGJUBROT

Munurinn á milli bylgjubrotsmælinga (seismic refraction) og endurvarpsmælinga (seismic reflection) er ekki alltaf augljós og sjaldan útskýrt á einfaldan hátt af jarðeðlisfræðingum. Vegna líkra nafna er þessum mælingum stundum ruglað saman og mörgum er ókunnugt um að það er verulegur munur á milli þessara tveggja aðferða. Þannig getur getur verið mismunandi eftir aðstæðum hvor aðferðin hentar betur eða er hagkvæmari hverju sinni.



Mynd 7-5

Bylgjubrotsmæling (seismic refraction)

- Jarðtæknilegt mat á gæðum bergs
- Dýpt á klöpp
- Grunnvatns rannsóknur
- Rannsóknir á berggrunninum

Endurvarpsmæling (seismic reflection): merki frá högggjafa endurspeglast aftur upp á yfirborðið frá lagmótum mis þétttra laga í jarðvegi og er móttækið í fjarlægð sem er mun minni en dýpt á þau efni sem mæld eru.

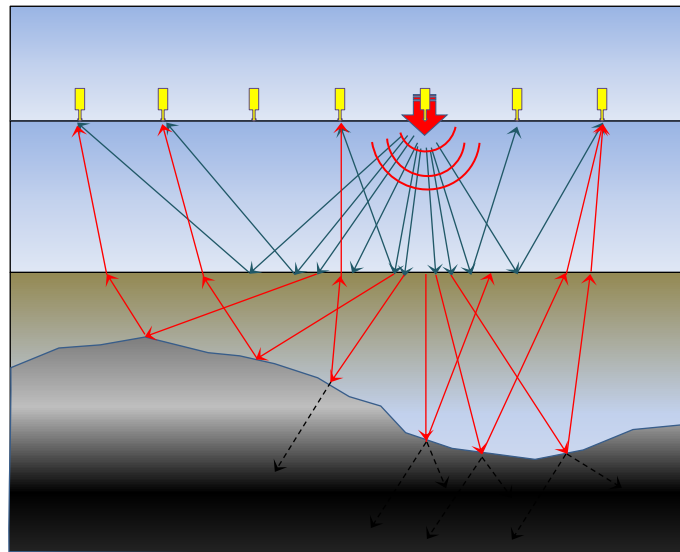
Bylgjubrotsmæling (seismic refraction): merki frá högggjafa, brotnar við breytingar í þéttleika og endurspeglast aftur upp á yfirborðið og er móttækið í fjarlægð sem er miklu meiri en dýpt á þau efni sem mæld eru.

Endurvarpsmæling (seismic reflection)

- Rannsóknir á sjávarbotni, vötnum og ám
- Grunnar jarðlagarannsóknir
- Greining holrúma í jarðvegi
- Rannsóknir á berggrunninum

7.4 ENDURVARPSMÆLINGAR

Endurvarpsmælingar (seismic reflection) eru taldar henta sérstaklega vel til mælinga á sjó og vötnum þar sem vökvinn hefur lítl áhrif á skúfbylgjurnar og endurspeglunin því góð. Þó að algengt sé talið að þessar mælingar gangi vel á grunnu vatni þá er það ekki alltaf svo sbr. kafla 7.4.1



Mynd 7-5 Teiknað dæmi af endurvarpsmælingu, seismic reflection

7.4.1 Endurvarpsmælingar á sjó

Eftirfarandi kafla er úr greinargerð frá Jarðfræðistofu Kjartans Thors til Vegagerðarinnar.

Eins og nafnið gefur til kynna, felst þessi aðferð í mælingu á endurvarpstíma hljóðmerkis í ferskvatni eða sjó. Hljóðpúls er sendur frá hljóðgjafa og endurvarpið numið með hljóðnema. Mæling á fartíma hljóðmerkisins gefur upplýsingar um dýpt endurvarpsflatar. Aðferðin er því sambærileg við bergmálsdýptarmælingar. Vegna lágrar tíðni hljóðmerkisins (0,5 til 5 kílóíð), gengur það hins vegar að hluta niður í setlög á botni og endurvarpast af lagamótum í þeim og af föstu bergi (klöpp) undir setlögum. Dæmi um útskrift úr tækjum af þessu tagi er sýnt á meðfylgjandi mynd.

Nákvæmni

Dýptarmælingar með bergmálmálstækni eru í raun mælingar á fartíma merkis og því ræðst nákvæmni þeirra af þeim hljóðhraða, sem beitt er til að snúa fartíma í dýpi. Í sjó eða ferskvatni er hljóðhraði breytilegur innan þröngra marka, en auðmælanlegur til kvörðunar. Í seti er hljóðhraði hins vegar breytilegur. Í lausu seti er hljóðhraði nálægt því hinn sami og í sjó, en ef setið er samlímt eða samanpressað, t.d. af jökli, er hljóðhraði hærri, og getur þar munað talsverðu. Ef ekki liggja fyrir upplýsingar um hljóðhraða verða mælingar á þykkt slíks sets því ónákvæmar. Dæmi: Setlag sem er 10 millisekúndur að þykkt (hljóðmerkið er 10 mS að fara í gegnum það og til baka) er í raun 7,5 metra þykkt ef hljóðhraðinn í því er 1500 metrar á sekúndu. Ef hljóðhraðinn er 2200 m/s, er lagið 11 metra þykkt.

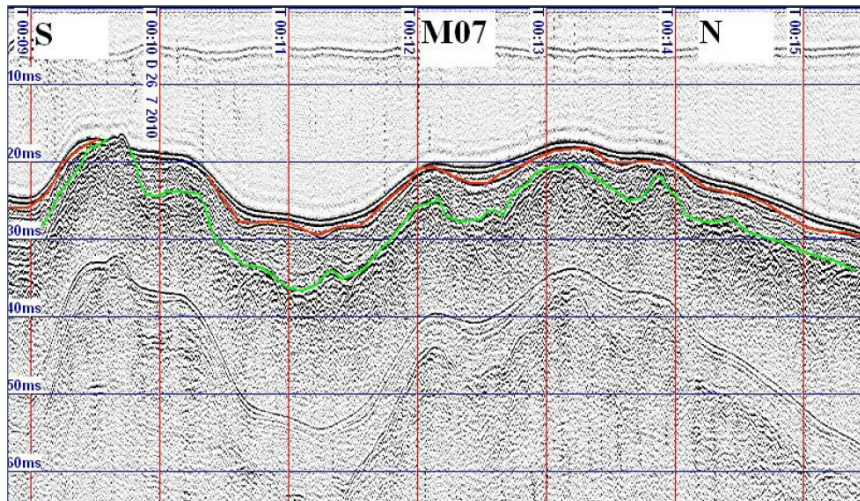
Kostir aðferðar

Aðferðin hefur marga kosti. Mikilvægur kostur er að halda tiltölulega miklum hraða við mælingarnar og ná yfir stórt svæði á skömmum tíma. Þá gefur aðferðineinnig færi á túlkun á setfræðilegum eiginleikum mældra setlaga (t.d. innri lagskiptingu, setgerð, uppruna). Einnig gefur aðferðin möguleika á nákvæmri kortlagningu yfirborðs klappar við rétt skilyrði. Sá ágalli, sem mönnum kann að finnast liggja í hugsanlegri ónákvæmni vegna hljóðhraða, hefur ekki hingað til valdið vanda í mælingum hérlandis. Aðalástæðan er líklega sú, að ef set er samlímt verður það yfirleitt því sem næst „ógegnsætt“ gagnvart hljóðmerkinu og mælist sem klöpp.

Takmarkanir aðferðar

Í íslenskum fjörðum og vogum er víða að finna ógegnsæjan flöt ofarlega í setlögnum. Þessi flötur er líklega yfirborð gass í setinu og gas hleypir hljóði illa eða ekki í gegnum sig. Þannig takmarkar þessi flötur jarðeðlisfræðilegar mælingar, t.d. endurvarpsmælingar og hljóðbrotsmælingar.

Önnur takmörkun á aðferðinni er að erfiðlega hefur gengið að beita henni á mjög grunnu vatni á Íslandi, ekki síst á svæðinu milli flóðs og fjöru. Skýringin er líklega sú, að þörungagróður og aðrar lífverur myndagas í setinu við dauða og rotnun. Einnig má búast við lofti í seti, sem þornar ofansjávar á fjöru.



Sniðið er úr Kjalakfirði og sýnir setlög ofan á klöpp. Græn lína skilur að yngri og eldri setlög.

Mynd 7-6, frá mælingum í Kjalakfirði

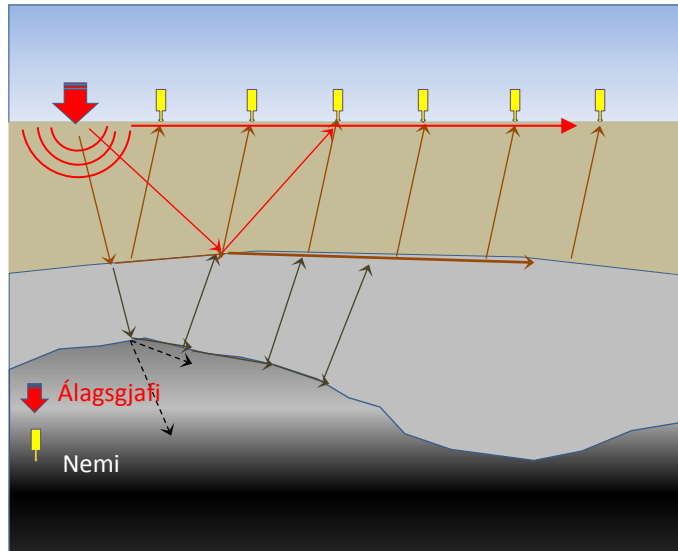
7.5 BYLGJUBROTSMÆLINGAR

Bylgjubrotsmælingar (seismic refraction) eru notaðar hér á landi hvort sem er á landi eða sjó. Bylgjubrotsmælingar eru m.a. notaðar við kortlagningu lausra jarðlaga ofan á þéttari efnum eða berggrunni.

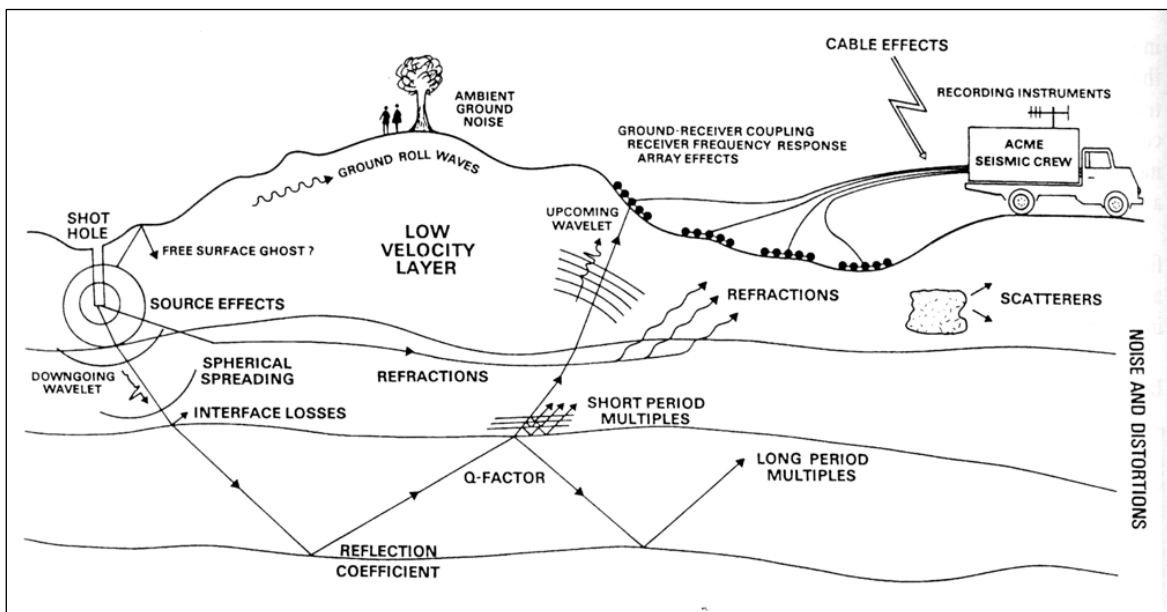
Hægt er að greina skil á milli mismuandi jarðefna út frá hljóðhraða. Hægt er að kortleggja sprungur og misgengi.

Bylgjubrotmælingar sjá takmarkað niður í mjög þétt berg og þurfa að vinna frá lausar efni í þéttara.

Mynd 7-7. Teiknað dæmi af endurvarpsmælingu, seismic reflection



Bylgjubrotmælingar eru einnig notaðar við mælingar á sjó og þá hefur verið algennt að aflgjafinn sé settur á botninn og þannig fengin betri mæling á setlögum. Það er einnig oft gert að bora holur í laus efni til að koma aflgjafanum (sprengingu) sem næst betur leiðandi efni.



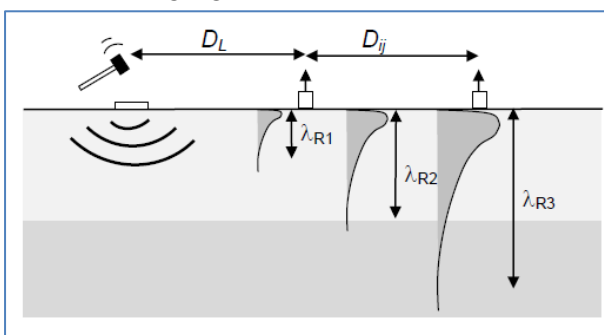
Mynd 7—8, Það er ýmislegt sem getur truflað bylgjuflutnig í mælingum og því mikilvægt að varðveita reynslu og þekkingu fagfólks við mælingar og úrvinnslu. <http://www.mines.edu/>

7.6 SASW-MÆLINGAR, SKÚFBYLGJUMÆLINGAR

Ýmsar aðferðir eru til við að mæla skúfbylgjuhraða. Hér má nefna milliholuaðferð, niðurholuaðferð, hreinbylgjuaðferð (Continuous Surface Wave – CSW), og aðferðir sem byggja á tíðnigreiningu á yfirborðsbylgna, eins og SASW-aðferðin (Spectral Analysis of Surface Waves) og MASW (Multichannel analysis of surface waves) gera (sjá t.d. Woods, 2004).

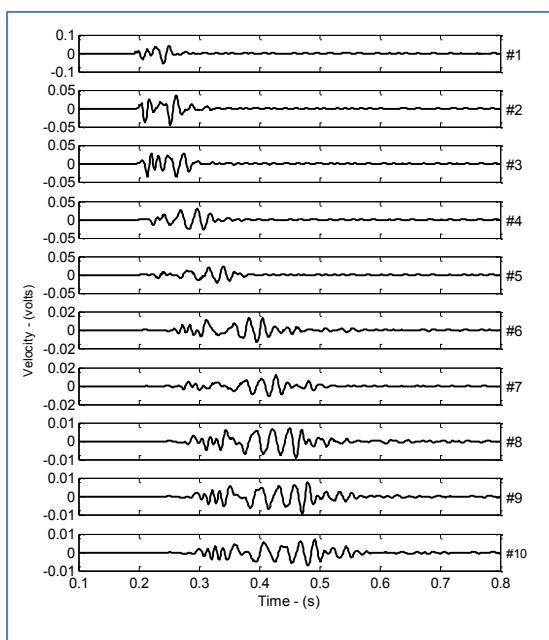
SASW-aðferðin hefur verið notuð á Íslandi undanfarna tvo áratugi til að mæla og meta skúfbylgjuhraða í náttúrulegum jarðvegi og í manngerðum fyllingum á ýmsum stöðum. Aðferðin er harðvirk og ódýr í framkvæmd samanborið við aðrar hliðstæðar jarðtæknilegar mælingar. Hún gefur áreiðanlegar niðurstöður niður á um 20 metra dýpi þegar notast er við hopp eða sleggju sem bylgjugjafa. Aðferðin gengur vel bæði fyrir lausan og stífan jarðveg. Ennfremur má beita henni á grófan jarðveg (möl og steinar) þar sem ýmsar aðrar aðferðir ganga illa.

Í stuttu máli gengur aðferðin út á að mæla útbreiðslu Rayleighbylgna og nota þær til að ákvarða



efniseiginleika þeirra jarðlaga sem verið er að kanna. Helsta einkenni slíkra bylgna er að þær hafa stærstu eindarfærslunar næst yfirborði en hreyfingin dvínar svo hratt með dýpi. Hátíðni Rayleighbylgjur hafa stutta bylgjulengd og ferðast því næst yfirborðinu á meðan lágtíðni bylgjur hafa lengri ölduengd og rista dýpra (sjá mynd 1).

Mynd 7-9. Útbreiðsla Rayleigh bylgna með mismunandi bylgjulengd í lagskiptum jarðvegi.



Mynd 7-10. Dæmi um skráðar tímaraðir frá SASW mælingu með tíu hraðanemum (#1-10). Tímaásinn er 0.7 s langur. Fjarlægð á milli hraðanema #1 og #10 eru 20 metrar.

Mikilvægt er því að mæla úrbreiðsluhraða Rayleighbylgna á breiðu tíðnibandi. Hægt er að tala um þrjú megin skref þegar aðferðinni er beitt, þ.e. vettvangsmæling, gagnauðvinnsla og loks hermun með reiknilíkani. Við vettvangsmælingu eru hraðanemum, sem mæla lóðrétta hreyfingu, komið fyrir í beinni línu á yfirborði jarðvegsins eða jarðlagsins sem verið er kanna.

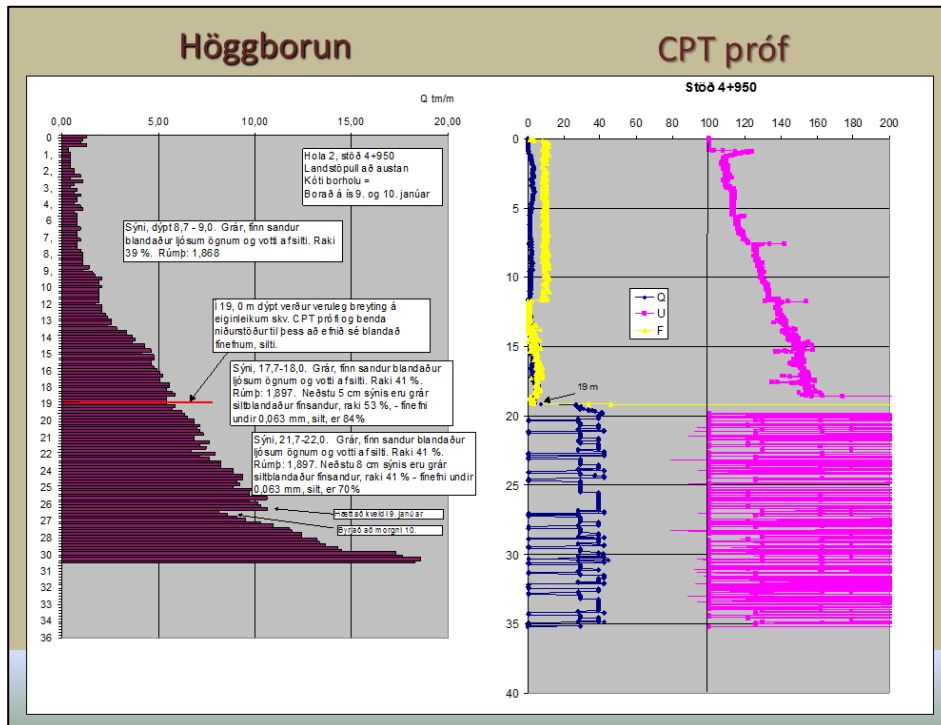
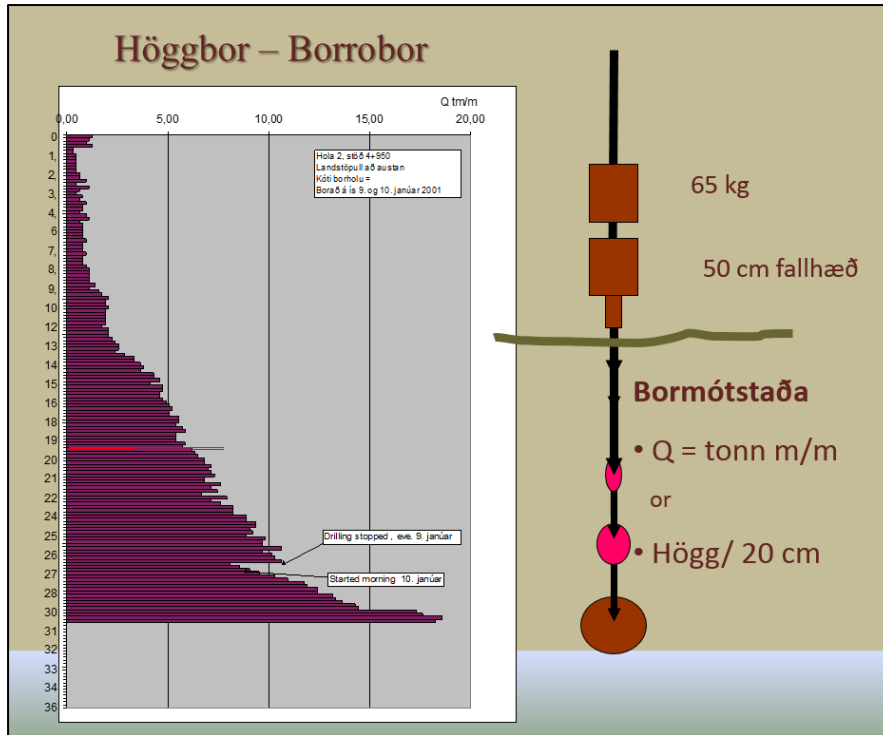
Yfirborðsbylgjur eru því næst framkallaðar með höggálagi við enda mæilínu og nemarnir notaðir til að skrá hreyfingu yfirborðs í tölvu þegar bylgjurnar breiðast út frá höggstaðnum (sjá mynd 1).

Fyrir tiltekna mæilínu þarf nokkrar mælingar með mismunandi höggálagi og breytilegri fjarlægð frá enda hennar. Mynd 2 sýnir mælda hreyfingu í mæilínu þar sem notast var við 10 hraðanema.

Sjá nánar <https://notendur.hi.is/~bb/sasw/index.php>

8 VIÐAUKAR

8.1 NIÐURSTÖÐUR FRÁ HÖGGBORUN



Samanburður höggborunar og CPT

8.1.1 Samanburður höggborunar og staurareksturs

Samantekt úr verkefni Guðmundar Þorsteins Bergssonar.

Almennt er betri fylgni milli gilda sem leiðrétt hafa verið fyrir þverskurðarflatarmáli en þeim sem hafa verið leiðrétt fyrir yfirborðsflatarmáli.

Vísbendingar eru um að áhrif vatnsþrýstings í holrými fínefnaríkra jarðlaga, orsaki hærrí mótstöðu í borniðurstöðum. Þetta gefur lélegri fylgni milli bor og rekmótstöðu þar sem þessi áhrif eru ekki eins mikil í niðurrekstri staura.

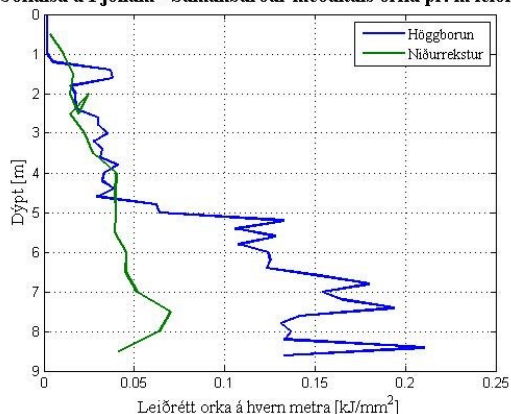
Taka þarf tillit til jarðefna á viðkomandi stað þegar skoðað er mögulega rek dýpt staura, ef mikið er um fínefni er skynsamlegt að bora bæði með snúnings og þrýstiborun ásamt höggborun sökum áhrifa vatnsþrýstings í fínefnaríkum jarðveg.

Með frekari rannsóknum, þar sem fyrir liggja upplýsingar um gerð og samsetningu jarðlaga, væri mögulega hægt að áætla rekmótstöðu stauranna. Eftir leiðréttingu fyrir þverskuraðarflatarmáli staura og borstanga ásamt því að taka tillit til áhrifa vatnsþrýstings með tilliti til gerð jarðvegjar.

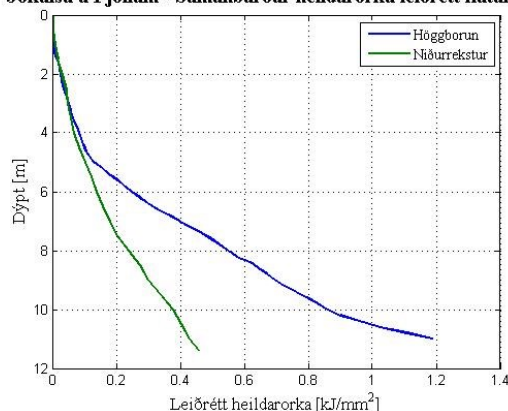
Almennt sýna niðurstöður að hámarks bormótstaða fyrir niðurrekstur staura sé u.þ.b. 85-130 kJ/m við vaxandi bormótstöðu. Þetta á þó ekki við ef um þunnt þétt lag er að ræða.

Jökulsá á fjöllum:

Jökulsá á Fjöllum - Samanburður meðaltals orku pr. m leiðrétt



Jökulsá á Fjöllum - Samanburður heildarorku leiðrétt flatarmál



2 borholur

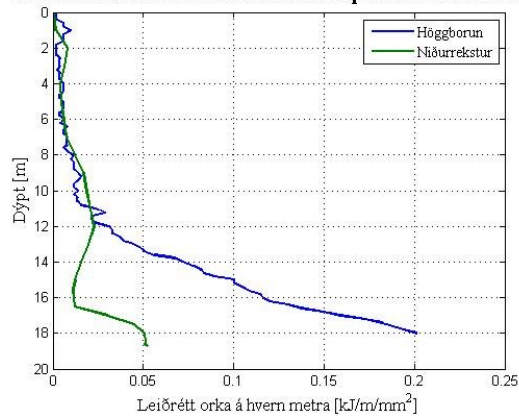
Staurar reknir niður í um 7,5-11,5 metra dýpi, borholur 11 og 10,8 metra djúpar.

Jarðefni: sandur mikil þökkun

Erfitt að nota gögn í ljósi þess að borholur eru grynri en rek dýpt staura.

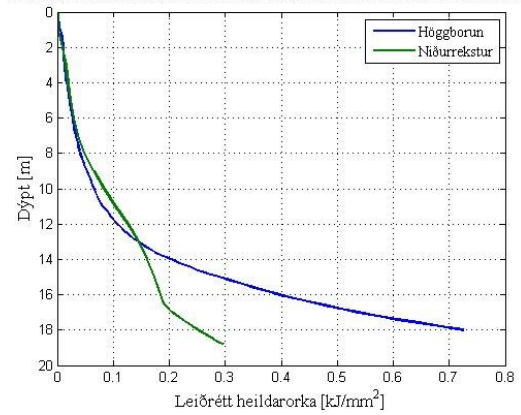
Staðará í Steingrímsfirði:

Staðará sunnan ár - Samanburður orku pr. m leiðrétt flatarmál



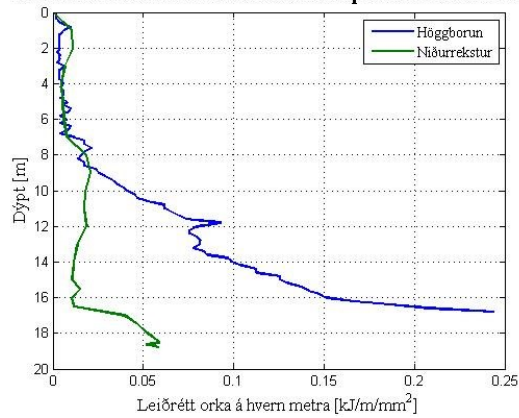
Mynd 8-1 Samanburður á orku á hvern metra leiðrétt fyrir þverskurðarflatarmáli sunnan ár.

Staðará sunnan ár - Samanburður heildarorku leiðrétt flatarmál



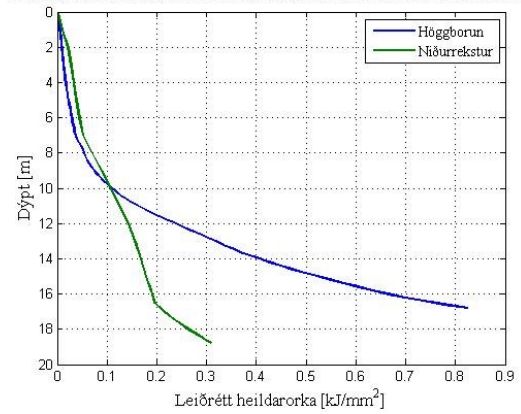
Mynd 8-2 Samanburður á heildarorku leiðrétt fyrir þverskurðarflatarmáli sunnan ár.

Staðará norðan ár - Samanburður orku pr. m leiðrétt flatarmál



Mynd 8-3 Samanburður á orku á hvern metra leiðrétt fyrir þverskurðarflatarmáli norðan ár.

Staðará norðan ár - Samanburður heildarorku leiðrétt flatarmál



Mynd 8-4 Samanburður á heildarorku leiðrétt fyrir þverskurðarflatarmáli norðan ár.

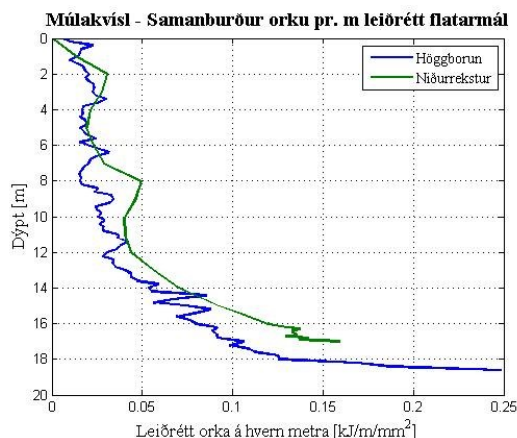
Borað var sunnan og norðan við Staðará.

Staurar voru reknir niður í 18,8 metra dýpi en borholur voru 16,8 metra djúpar.

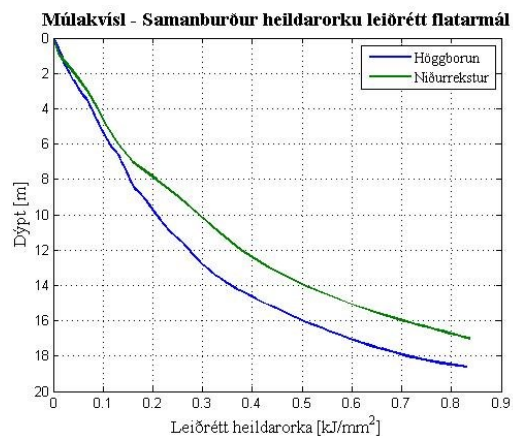
Jarðefni: blanda af laust þökkuðum sand og möl

Erfitt að nota gögn í ljósi þess að borholur eru grynri en rek dýpt staura.

Múlakvísl



Mynd 8-5 Samanburður á orku á hvern metra leiðréttri fyrir þverskurðarflatarmáli.



Mynd 8-6 Samanburður leiðréttri heildarorku fyrir þverskurðarflatarmáli.

Borað var 14 borholur!?

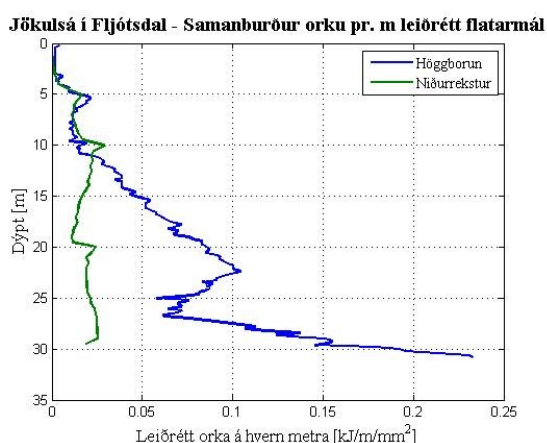
Staurar voru reknir niður í 17 metra dýpi og borholur voru 18,4-21,2 metra djúpar.

Jarðefni: efsta lag þéttur sandur þar fyrir neðan þéttari sandur.

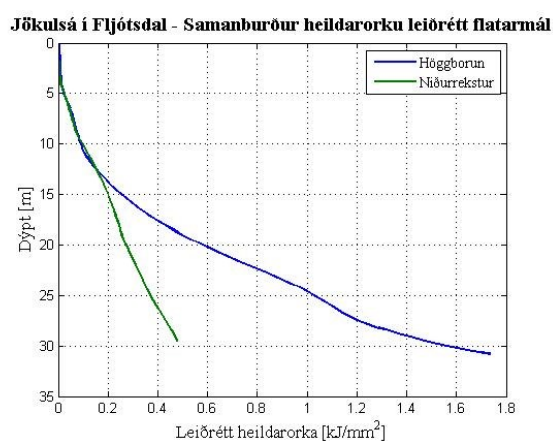
Meðaltal bormótstaða við stauraenda er 85 kJ/m og heildarbormótstaða á 17 m. dýpi er 479 MPa þessar niðurstöður eru nokkuð lægri en viðmiðunargildið 98 kJ/mu.

Þegar orkan fyrir rek og bormótstöðuna var leiðrétt fyrir þverskurðarflatarmáli var góð fylgni á milli. Ekki var góð fylgni á milli er leiðrétt var fyrir yfirborðsflatarmáli.

Jökulsá í Fljótsdal



Mynd 8-7 Samanburður á orku á hvern metra leiðréttri fyrir þverskurðarflatarmáli.



Mynd 8-8 Samanburður leiðréttri heildarorku fyrir þverskurðarflatarmáli.

Staurar reknir niður á 29-29,5 metra dýpi

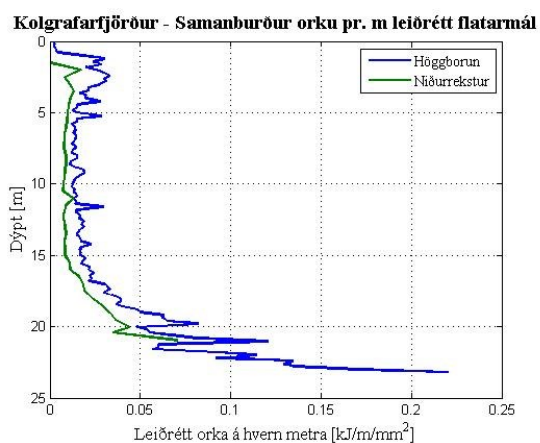
Jarðefni: laus sandur

Niður að 10 metra dýpi er góð fylgni milli gilda sem hafa verið leiðrétt fyrir þverskurðarflatarmáli.

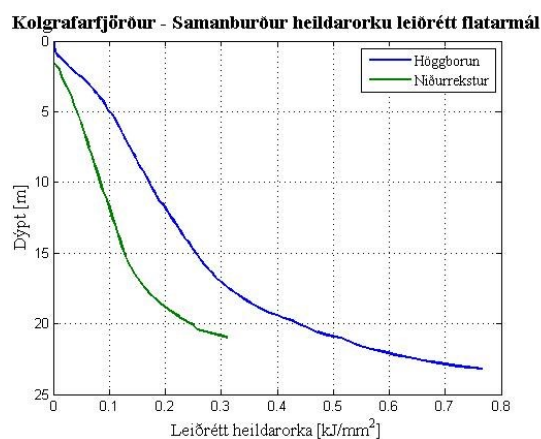
Ekki var góð fylgni er leiðrétt var gildi fyrir yfirborðsflatarmáli.

Meðal bormótstaða við enda staura er 122 kJ/m og heildarmótstaðan 1124 kJ. Niðurstöður er örlítið hærrí en viðmunargildið 98 kJ/m.

Kolgrafarfjörður



Mynd 8-9 Samanburður á orku á hvern metra leiðrétttri fyrir þverskurðarflatarmáli.



Mynd 8-10 Samanburður leiðrétttri heildarorku fyrir þverskurðarflatarmáli.

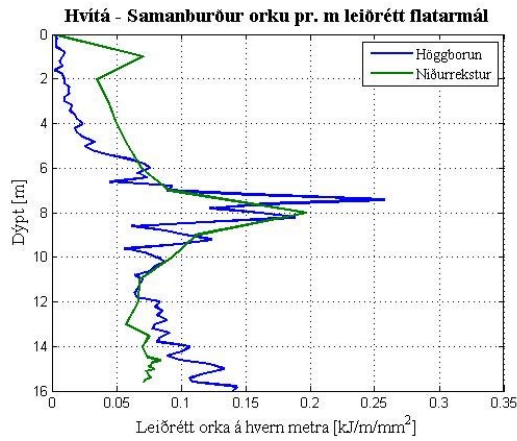
Staurar reknir niður á 20-21,3 m.

Jarðefni: laus sandur og mól

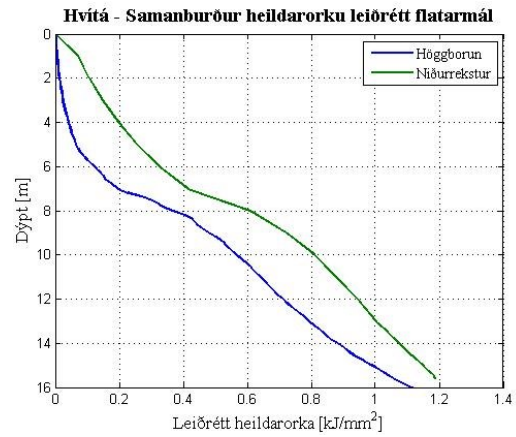
Meðaltal bormótstöðu er 59 kJ/m og heildarbormótstaða 389 kJ. Talsverðar sveiflur eru í bormótstöðu eða frá 39-97 kJ/m

Góð fylgni milli gilda sem hafa verið leiðrétti fyrir þverskurðarflatarmáli.

Hvítá við Bræðratungu



Mynd 8-11 Samanburður á orku á hvern metra leiðréttri fyrir þverskurðarflatarmáli.



Mynd 8-12 Samanburður leiðréttri heildarorku fyrir þverskurðarflatarmáli.

Staurar reknir niður á 15,6 metra dýpi.

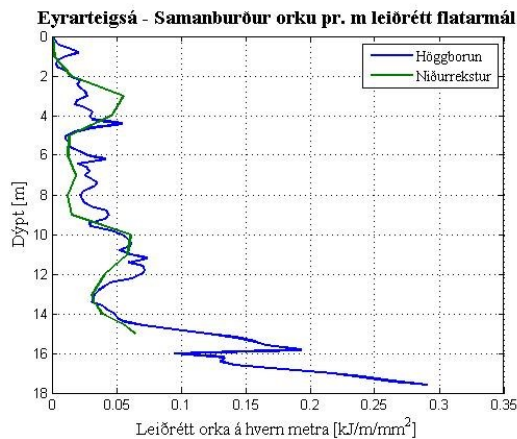
Jarðefni: þéttur sandur og þar fyrir neðan ennþá þéttari sandur.

Meðaltal bormótstöðu við staurenda er 87 kJ/m og heildarbormótstaða 850 kJ.

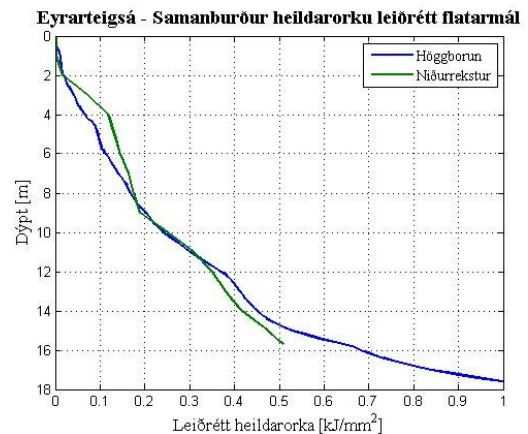
Sæmileg fylgni á milli þegar leiðrétt fyrir þverskurðarflatarmáli.

Lítill fylgni milli gilda þegar leiðrétt fyrir yfirborðsflatarmáli.

Eyrarteigsá



Mynd 8-13 Samanburður á orku á hvern metra leiðréttri fyrir þverskurðarflatarmáli.



Mynd 8-14 Samanburður leiðréttri heildarorku fyrir þverskurðarflatarmáli.

Staurar reknir niður á 15-15,9 metra dýpi.

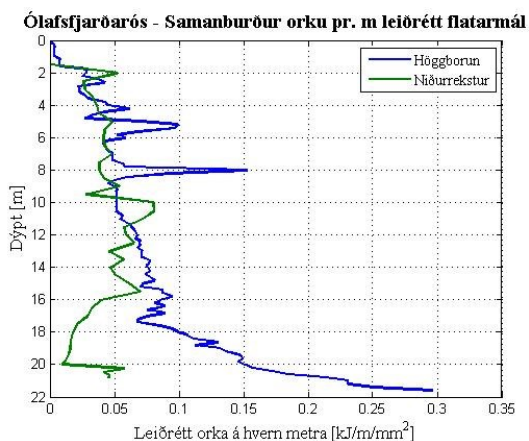
Jarðefni: meðal þéttur sandur og þar fyrir neðan veik möl.

Meðaltal bormótstöðu er 119 kJ/m og heildarbormótstaða 490 kJ. Nokkur dreifing var á bormótstöðunni við staurenda en meðaltalið er nálægt viðmiðunargildinu 98 kJ/m.

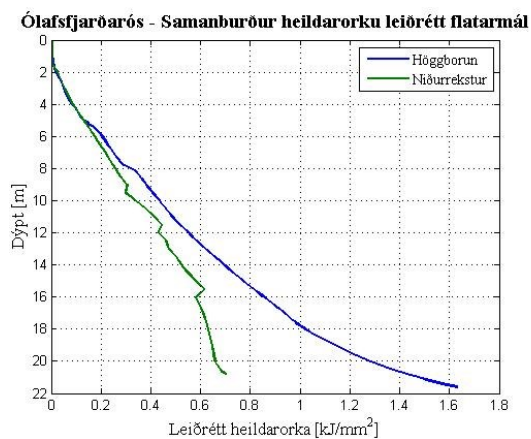
Sæmileg fylgni milli gilda þegar leiðrétt fyrir þverskurðarflatarmáli.

Lítill fylgni milli gilda þegar leiðrétt fyrir yfirborðsflatarmáli.

Ólafsfjarðarós



Mynd 8-15 Samanburður á orku á hvern metra leiðréttri fyrir þverskurðarflatarmáli.



Mynd 8-16 Samanburður leiðréttri heildarorku fyrir þverskurðarflatarmáli.

Staurar reknir niður á 9-21 metra dýpi.

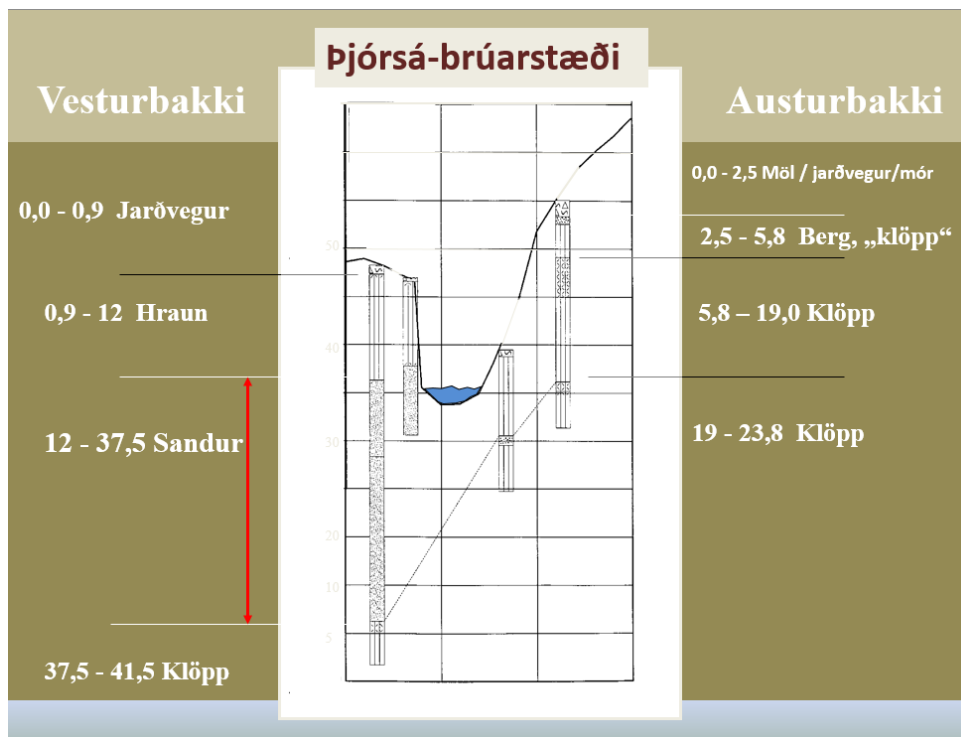
Jarðefni: þéttur sandur ofan á lausum sandi.

Mikil dreifing var í bormótstöðu eða á bilinu 41-171 kJ/m. Meðaltal bormótstöðunar við staurenda er 124 kJ/m og meðaltal heildarbormótstöðu er 890 kJ.

Nokkur fylgni milli milli gilda þegar leiðrétt fyrir þverskurðarflatarmáli

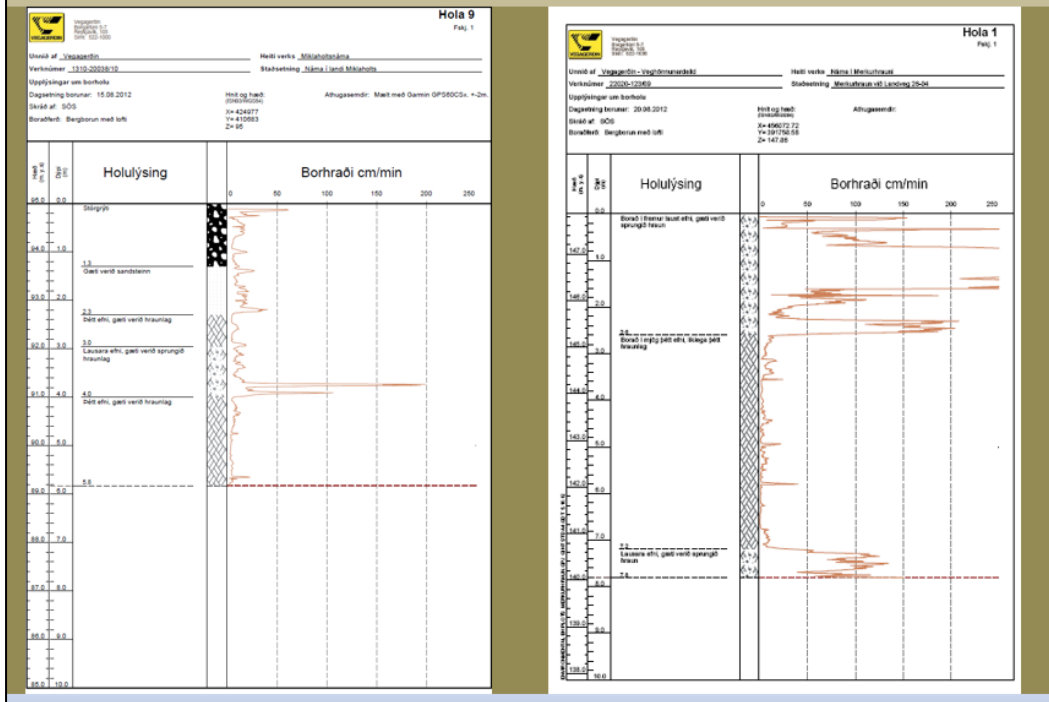
Lítill fylgni milli gilda sem leiðrétt voru fyrir yfirborðsflatarmáli.

8.2 ODEXBORUN Í BRÚARSTÆÐI



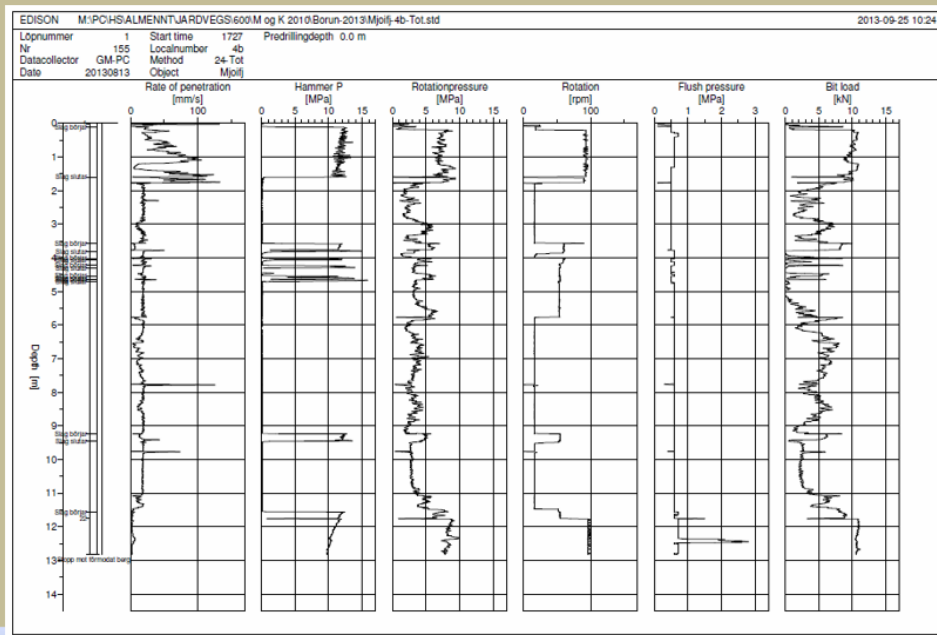
Þekking á jarðsögu og jarðfræði er nauðsynleg í tengslum við jarðtæknirannsóknir, hraun ofan á sandi.

Borun í berg – mótstöðu- & tímamæling

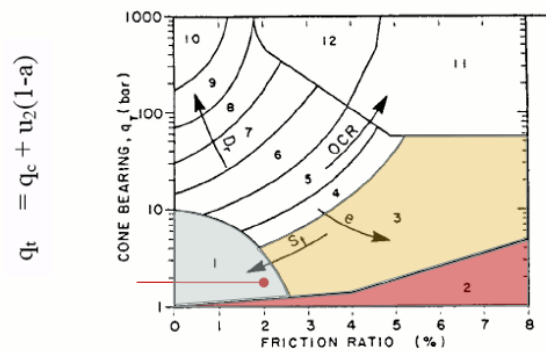


Borniðurstöður settar fram með gINT forritinu.

Heildarborun - totalsondering



CPT - flokkun jarðefna

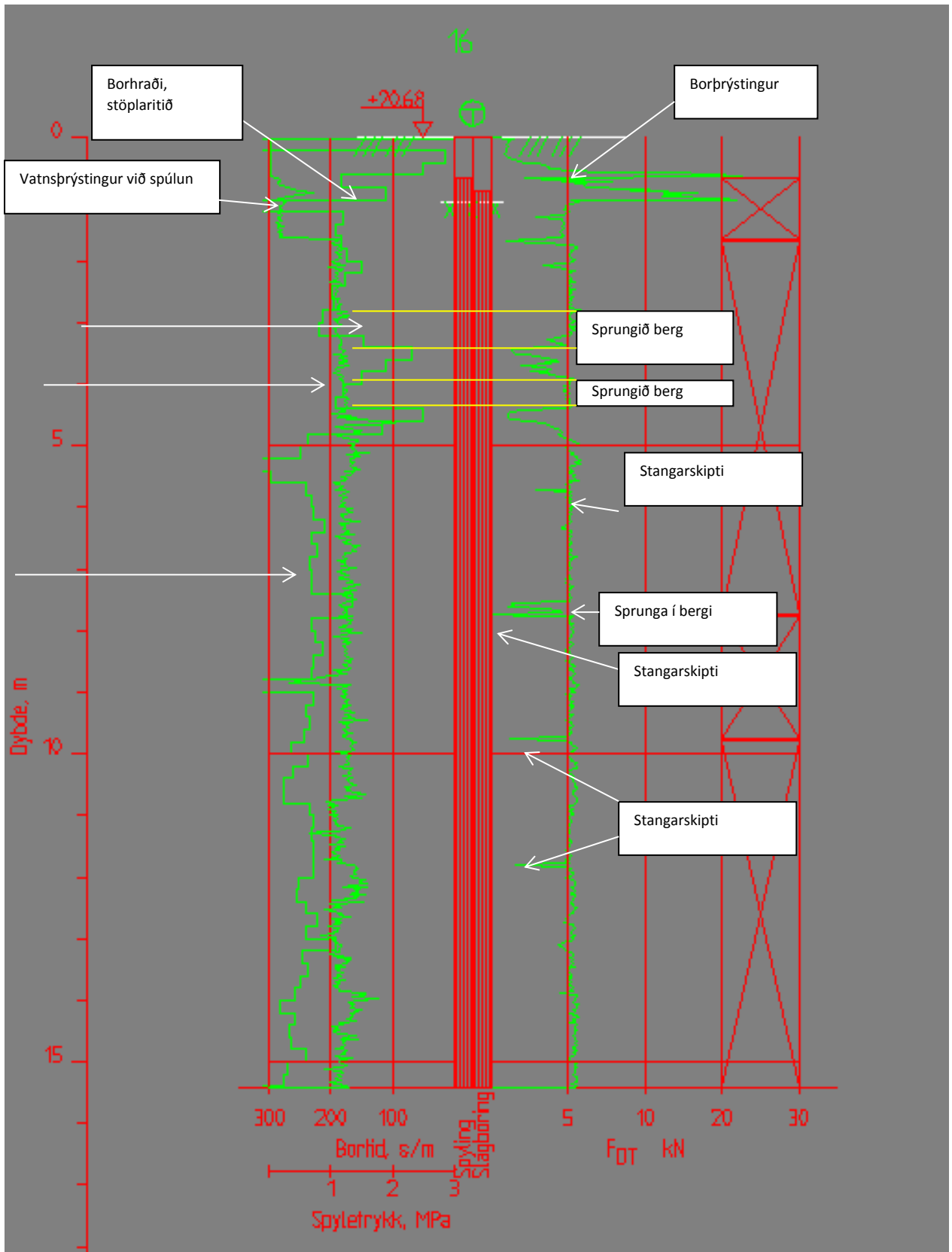


Flokkað út frá friction við borhulsu.

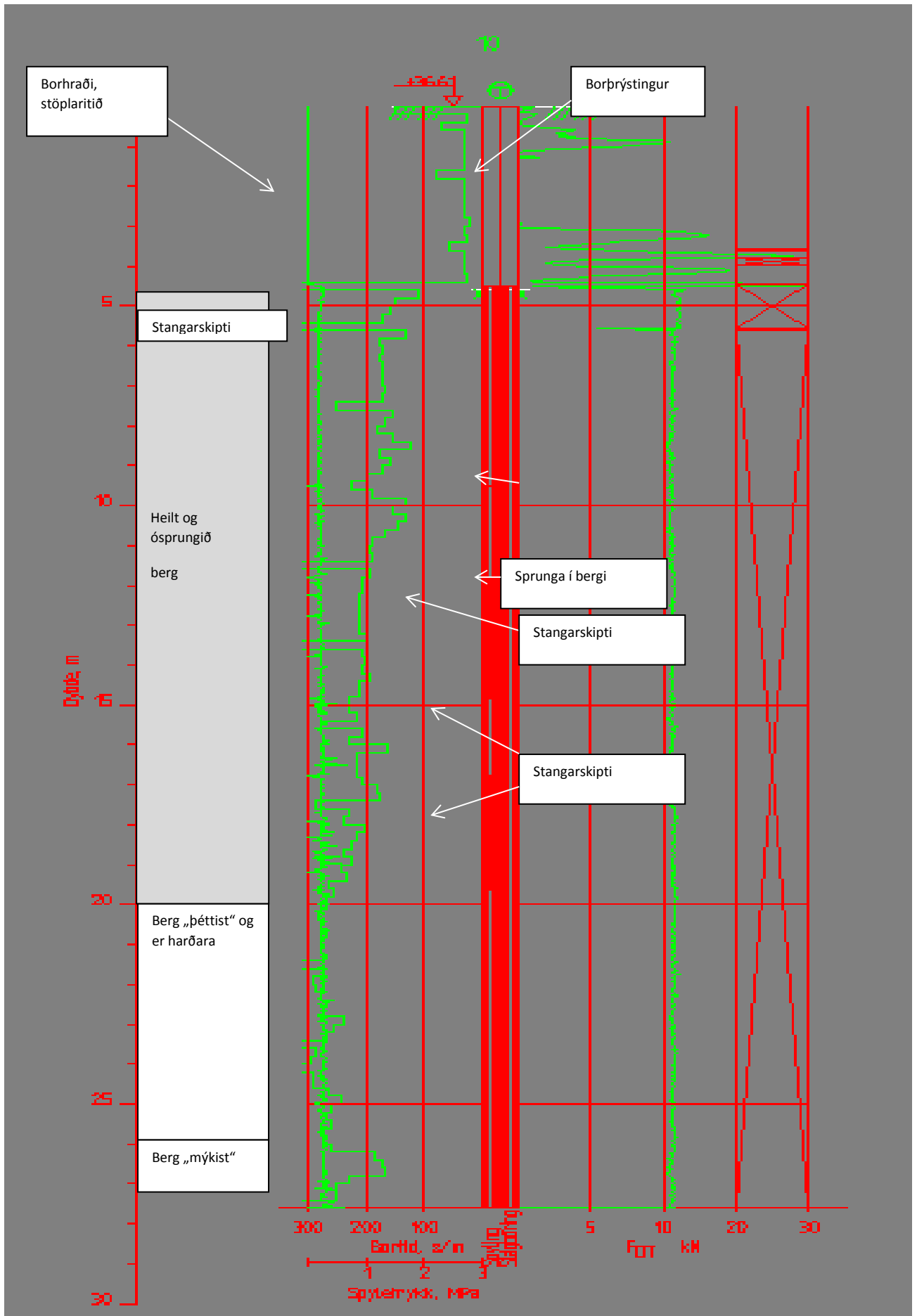
- | | |
|--------------------------------|--|
| 1. Sensitive fine-grained soil | 7. Silty sand to sandy silt |
| 2. Organic soil | 8. Sand to silty sand |
| 3. Clay | 9. Sand |
| 4. Silty clay to clay | 10. Sand to gravelly sand |
| 5. Clayey silt to silty clay | 11. Very stiff fine-grained soil |
| 6. Sandy silt to clayey silt | 12. Overconsolidated or cemented sand to clayey sand |

Flokkunarkerfi eftir Robertson o.fl. 1986

Nánar: CPT in Geotechnical Practice e. Tom Lunne o.fl.



Norskt dæmi um niðurstöður bergborunnar.



Norskt dæmi um niðurstöður bergborunnar

9 HEIMILDIR

The Austroads Guide to Road Design Part 7 – Geotechnical Investigation and Design-2008

Geotechnical Aspects of Pavements, Publication No.FHWA NHI-05-037 May 2006,
NHI Course No. 132040

Geotechnical Manual, Minnesota Department of Transportation

Ground investigations in road projects in Nordic Countries. PP kynning frá FINRA

Laboratorieundersøkelser.Normaler. Håndbok R210, Statens vegvesen 2016.

Feltundersøkelse. Retningslinjer. 08.97. Håndbok 015. Statens vegvesen.

Geoteknikk i vegbygging. Håndbok V220, Statens vegvesen 2010.

Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger. Håndbok V221. Statens vegvesen 2012

Geoteknisk felthåndbok. Håndbok V222, Statens vegvesen. 2010

Geoteknisk opptegning. Håndbok V223, Statens vegvesen 1992

Vegbygging, normaler. Statens vegvesen, Håndbok N200, 2014.

9.1 NÁNAR UPPLÝSINGAR

<http://www.rockma.se/>

<http://www.geomek.se>

<http://www.geotech.se/>

<http://en.geomachine.fi/>

<http://www.envi.se/>