



# Notkun styrkts jarðvegs í mannvirki í vegagerð

Nóvember 2003



Línuhönnun  
verkfræðistofa

## 1. Efnisyfirlit

1	Efnisyfirlit .....	1
2	Inngangur .....	3
3	Sögulegt yfirlit.....	4
4	Jarðgerviefni.....	5
5	Valmöguleikar í styrktum jarðvegi .....	8
6	Fræðilegur munur.....	11
7	Kostir og gallar styrkts jarðvegs.....	13
8	Notkunarmöguleikar.....	16
9	Hljóðvist og manir.....	19
10	Val á framhlið eftir aðstæðum.....	23
11	Samanburður með tilliti til kostnaðar.....	25
12	Niðurstöður.....	30
13	Heimildaskrá .....	31
	Viðaukar.....	33

## 2. Inngangur

Styrktur jarðvegur (e. mechanically stabilized earth, MSE) er tækni við stoðveggjagerð sem hefur verið í mikilli þróun á síðari árum og fer notkun hennar ört vaxandi víða um heim. Þá er notast við svokölluð jarðgerviefni til að ná festu í fyllingunni aftan við vegginn. Ástæður vaxandi notkunar eru helstar lægri kostnaður en við hefðbundna steypa stoðveggi ásamt því að uppsetning er oft auðveldari og fljótlegri.

Segja má að tæknin hafi lítið sem ekkert rutt sér til rúms hér á landi enn sem komið er. Hinar norðurlandþjóðirnar eru byrjaðar að nýta sér styrktan jarðveg og þá helst Norðmenn sem hafa notað tæknina nokkuð víða [3].

Tilgangur þessa verkefnis er að kanna notkunarmöguleika á styrktum jarðvegi í vegagerð hér á landi. Athugað er í hvaða mannvirkjum slíkt fyrirkomulag hentar best og einnig hvort ná megi fram sparnaði með notkun hans.

Verkefni þetta var styrkt af Rannsókn- og þróunarsjóði Vegagerðarinnar og Línuhönnun hf.

Aðstoð var fengin hjá tæknideild BM Vallá ehf við kostnaðarmat forsteypra eininga.

### 3. Sögulegt yfirlit

Menn hafa lengi leitast við að styrkja veikan jarðveg með ísetningu annarra efna. Til eru vísbendingar um að fyrir meira en 5000 árum hafi menn lagt trjáboli í mýrar til að unnt væri að ferðast um þær. Árið 1926 gerðu vegayfirvöld í Suður-Karólínufylki í Bandaríkjunum tilraun með þykkann bómullardúk undir veg á grónu landi. Niðurstaðan var sú að dúkurinn kom í veg fyrir sprungumyndun, sig og staðbundna galla í veginum allt þar til niðurbrot hófst í þessu náttúrulega efni [1]. Hér er því kominn fram einn helsti ókosturinn við hvers kyns lífræn efni til notkunar í jarðvegi, þau brotna niður með tímanum og missa fljótlega styrk. Þessi tilraun sýndi mönnum þörfina á að þróa sambærilega dúka úr gerviefnum.

Notkun á gerviefnum í tengslum við jarðveg má segja að hafi hafist með sandpokum í hernaði og til björgunaraðgerða í flóðum. Sú hugmynd að búa til massamikinn og stöðugan hlut úr tiltæku jarðefni og efnislitlu manngerðu efni er í raun enn gegnumgangandi í hönnun með jarðgerviefnum.

Á 7. áratugnum fóru menn í vaxandi mæli að nota dúka í rofvörnum hvers konar, sem og við síun. Í kringum 1970 var byrjað að nota dúka við aðskilnað og til styrkingar í vegum og járnbrautum [1]. Skömmu síðar voru fyrstu stoðveggirnir og styrktu fláarnir gerðir með aðstoð jarðgerviefna. Síðan þá hafa margar nýjungar verið þróaðar, efnin verið styrkt og bætt og mikill iðnaður sprottið upp í framleiðslu á jarðgerviefnum.

Ástæður fyrir örum vexti í notkun jarðgerviefna eru þær helstar að með þeim má vinna mörg verk betur og einnig oft mun hagkvæmar en með öðrum leiðum. Þessi efni hafa mörg hver langan líftíma svo að viðhaldskostnaður er oft hverfandi.

Notkun jarðgerviefna á Íslandi er enn sem komið er nær eingöngu bundin við dúka hverskonar, þá helst við aðskilnað og síun. Styrktur jarðvegur hefur þó verið notaður við gerð snjóflóðamannvirkja.

## 4. Jarðgerviefni

Í þessum kafla verður stuttlega gerð grein fyrir jarðgerviefnum.

Jarðgerviefni (e. geosynthetics) er samheiti yfir hóp efna sem notuð eru í ýmsum tilgangi í jarðvegi. Þau má nota til að halda jarðefnum aðskildum, til að styrkja jarðveg á einhvern hátt, til að stuðla að öruggri vatnsræsingu, við síun og til að hindra leka. Efnin eru oftast úr plasti, trefjaplasi eða stáli. Fjölmargar tegundir af jarðgerviefnum hafa komið fram en þó er þeim oftast skipt í eftirfarandi flokka [1,2,3]:

- **Jarðdúkar** (e. geotextiles, geomembranes): Aðallega úr trefjaefnum (geotextiles) og eru ýmist ofnir eða ekki. Flestir eru gegndræpir og eru þá notaðir jafnt í aðskilnað, síun, styrkingu og vatnsræsingu. Einnig til ógegndræpir (geomembranes) og þá notaðir til að hindra leka vatns eða annarra efna.



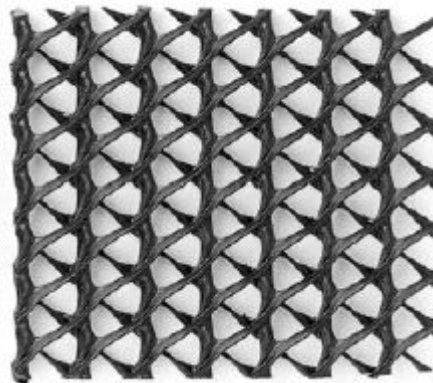
Mynd 1: Jarðdúk komið fyrir á byggingarstað.

- **Jarðgrindur** (e. geogrids): Alls kyns efni sem mynda grind með hlutfallslega stór op. Ýmist ætlað að taka átak í eina eða tvær áttir. Mest notuð í styrkingar en þó einnig í aðskilnað.



Mynd 2: Hleðsla styrkt með jarðneti.

- **Jarðnet** (e. geonets): Fíngerðari en grindur og oftast tígullaga op. Geta teygst í aðra áttina og nánast eingöngu notuð í aðskilnað.



Mynd 3: Ein útfærsla á jarðneti.

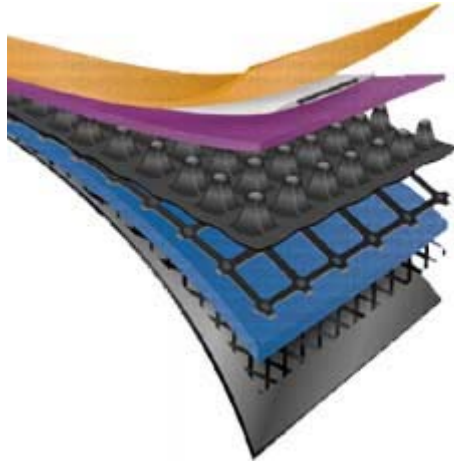
- **Hólf** (e. cells): Efni sem mynda einhverskonar hólf. Þannig næst mun meira grip í fyllingarefninu en með grindum. Notað í styrkingar.



Mynd 4: Hólfum komið fyrir í fláa.



- **Samsetningar** (e. geocomposites): Sambland úr öðrum flokkum, t.d. dúkur og net í einu og sama efninu. Samsetningar hafa þannig fjölbreyttara hlutverk.



Mynd 5: Sýnir möguleika sem bjóðast í samsetningum.

- **Ræmur og stangir** (e. strips and bars): Lagðar í fyllingu til að ná festu með núningi við fylliefnið. Oftast notað til að festa einingar í stoðveggjum.



Mynd 6: Veggur með ræmum í byggingu.

Eins og nefnt var hér að ofan eru jarðgerviefni nýtt til fjölmargra hluta. Hér verður aðeins styrking jarðvegs í stoðveggjum til umfjöllunar og þá einblínt á nýtingarmöguleika í vegagerð á Íslandi.

## 5. Valmöguleikar í styrktum jarðvegi

Í þessum kafla verður leitast við að gera grein fyrir helstu valmöguleikum í styrkingu jarðvegs. Segja má að valið sé tvíþætt, annars vegar val á veggnum sjálfum eða framhliðinni á mannvirkinu, og hins vegar á styrkingunni sem sett er í fyllinguna að baki.

Helstu valmöguleikar í framhliðinni eru eftirfarandi:

- **Forsteyptar einingar:** Einingar til að hlaða upp sem tengjast við styrkingarnar í fyllingunni. Einingarnar geta verið mun efnisminni en ef veggurinn bæri álagið einn. Miklir valmöguleikar í útliti og áferð.



Mynd 7: Veggur reistur úr steiptum einingum og styrktur með stálræmum.

- **Flöt grind:** Vel má láta nægja að hafa flata grind sem tengist við styrkingarnar í fyllingunni. Býður upp á að hafa framhliðina gróna.





Mynd 8: Framhlið úr flatri grind og lífrænt efni fyrir innan.

- **Net:** Með sama hætti mætti notast við net í stað grindar.
- **Körfur (e. gabions):** Tilbúnar körfur úr stálneti eða grindum sem fylltar eru með sérvöldu grjóti og þeim hlaðið hverri ofan á aðra til að mynda vegg. Aftan úr körfunum gengur oftast net sem tengist í fyllinguna.



Mynd 9: Nær lóðréttur veggur úr körfum.

- **Dúkar:** Mögulegt er að láta dúka sem notaðir eru sem styrking í fyllingunni einnig mynda framhliðina. Þetta er helst kostur til bráðabirgða þar sem dúkarnir eru þá óvarðir. Þó er unnt að verja þá með sprautusteypu eða öðru efni.

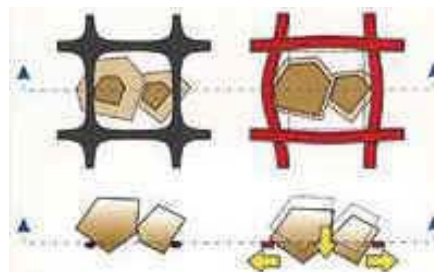


Mynd 10: Nokkuð hár veggur myndaður með því að bretta dúkinn til baka inn í vegginn.

Valmöguleikar í styrkingu í fyllingunni eru nokkrir og fer valið töluvert eftir eiginleikum fyllingarinnar og krafna um stöðugleika og leyfðar hreyfingar á líftímanum.

Helstu valmöguleikarnir eru eftirfarandi:

- **Grindur:** eru á margan hátt heppilegar þar sem auðvelt er að tengja þær við framhliðina. Oft eru þær klemmdar milli steyptra eininga. Grindur ná mikilli festu þar sem steinar krækjast í götin og dragast með (e. interlocking effect).

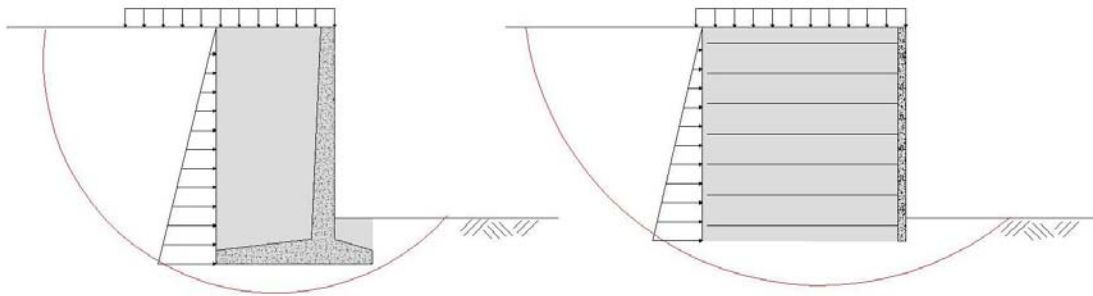


Mynd 11: Útskýrir hvernig grindur ná festu í jarðveginum.

- **Net:** Notast á svipaðan hátt og grindur, fer nokkuð eftir eiginleikum fyllingarinnar. Nýta einnig samvirkni við smásteina í fyllingunni.
- **Samsetningar:** Virka með svipuðum hætti og net. Oft er einnig leitast við að ræsa fram vatn með gegndræpum dúki áföstum neti eða grind sem gefur festuna.
- **Ræmur og stangir:** Ná festu með núningi við fylliefnið. Stangir oft tengdar við akkeri.

## 6. Fræðilegur munur

Í þessum kafla verður styrktur jarðvegur borin saman við hefðbundinn steinsteyptan stoðvegg með tilliti til upptöku krafta og slíkra hluta. Með því má betur átta sig á því hvenær styrktur jarðvegur á við.



**Mynd 12: Hefðbundinn stoðveggur og styrktur jarðvegur skoðaður út frá kröfum.**

Eins og sést á mynd 12 að ofan munar nokkru á því hvernig aðferðirnar tvær vinna [1,2]. Hefðbundinn stoðveggur nýtir eigin þunga og þunga þess efnis sem á honum hvílir til að haldast stöðugur. Álagið frá fyllingunni þarf því að velta miklum massa til að stoðveggurinn gefi sig. Veggurinn með styrkta jarðveginum er sjálfur mun efnisminni en styrkingarnar í bakfyllingunni tengja mikinn massa efnis við vegginn. Þannig má segja að ákveðið virkt svæði verði til í báðum tilfellum, merkt með skyggðu svæði á myndinni. Utan þessara svæða má segja að veggirnir tveir séu svipaðir, þeir búa yfir ákveðnum massa og eru þeir nokkuð stöðugir. Brot í undirstöðu getur orðið með svipuðum hætti óháð gerð veggjanna). Þó má segja að brotflöturinn þurfi almennt að vera stærri hjá styrkta jarðveginum þar sem áhrifasvæðið nær oftast innar í fyllinguna. Á móti kemur að hefðbundinn stoðveggur nær almennt neðar í jörðu. Sjá má líklega brotflæti á myndinni (rauðir ferlar).

Nokkru munar á aðferðunum tveimur með tilliti til jarðskálftaálags. Steypti stoðveggurinn er stífari og því mest hættu á að brot verði í ták hans. Styrkti jarðvegurinn er mun sveigjanlegri og tekur almennt jarðsjálfta vel [5]. Tjón yrði helst það að formbreytingar yrðu en segja má að veggurinn þurfi alls ekki að vera ónýtur

þótt slíkt hendi. Hins vegar er hætt við að brot í hefðbundnum stoðvegg væri talið alvarleg skemmd.

## 7. Kostir og gallar styrkts jarðvegs

Hér verður farið yfir þá kosti og galla sem fylgja notkun styrkts jarðvegs í stað hefðbundins stoðveggjar [3].

### Helstu kostir við notkun styrkts jarðvegs:

- **Meðfærilegt kerfi:** Styrktur jarðvegur býður upp á mikinn sveigjanleika í uppsetningu og jafnvel síðari viðbótum. Veggurinn er byggður upp jafnóðum og fyllingin er lögð út og þjöppuð. Fyrirferðamikill og tímafrekur mótauppsláttur er óþarfur.



Mynd 13: Uppsetning á styrkum vegg.

- **Minni gröftur:** Styrktur jarðvegur krefst almennt minni graftar niður á við en steypdur veggur. Þó getur verið að skipta þurfi um efni aftan við vegginn og getur það orðið mikill gröftur.
- **Einfalt verk:** Styrktur jarðvegur er almennt talið einfaldara verk, minni starfskunnáttu og vélbúnaðar er krafist.



- **Stöðugleiki í jarðskjálfta:** Svo virðist sem styrktur jarðvegur þoli jarðskálftaáráun vel. Veggurinn er sveigjanlegur og fylgir jarðveginum. Oft fást minniháttar formbreytingar en virkni mannvirkisins skerðist lítið.
- **Kostnaður:** Styrktur jarðvegur er almennt talinn hagkvæmari kostur en steypur stoðveggur.
- **Skemmdarverk:** Koma má í veg fyrir veggjakrot með notkun styrkt jarðvegar eins og mynd 14 sýnir glögglega.



Mynd 14: Samanburður á steypum stoðvegg og grjóthleðslu með tilliti til veggjakrots.

#### Helstu ókostir við notkun styrkts jarðvegs:

- **Lítill reynsla af efnum:** Ekki eru liðin nema um 30 ár síðan fyrstu veggirnir með styrktum jarðvegi voru reistir. Því er ekki hægt að fullyrða um endingu efna en tilraunir benda almennt til þess að líftíminn sé langur ef ráðstafanir eru gerðar til að koma í veg fyrir tæringu og slíkt.
- **Lítill reynsla af hönnunaraðferðum:** Einnig eru hönnunaraðferðir í stöðugri þróun og víða í gangi umfangsmiklar tilraunir til þróunar á þeim. Flestar niðurstöður sem komnar eru benda til þess að þær aðferðir sem notaðar hafa verið séu töluvert varfærnar og nýjar aðferðir leiða til mun lægri kostnaðar en áður.



- **Mikill fylling:** Í sumum tilvikum getur það valdið erfiðleikum hve langt þarf að leggja styrkingar inn í fyllinguna. Þá getur kostnaður við gröft og efnisflutning orðið of dýr þar sem efniskröfur eru ákveðnar vegna samverkunar við styrkinguna.
- **Tæringarhætta:** Notkun á járn í styrkingar getur orðið til vandræða þar sem fylliefni geta haft mjög misjafnan tæringarmátt og því þarf að athuga vel hver möguleg tæring á líftíma mannvirkisins getur orðið.
- **Veðrun á plastefnum:** Plastefni sem sólarljós kemst að getur skemmt vegna UV-geilsunar.
- **Lagfæringar:** Erfitt getur reynst að laga skemmdir sem geta orðið vegna flóða, áreksturs eða vegna þess að grafa þurfi upp lagnir sem liggja undir styrktum jarðvegi. Mikilvægt er að slík atriði séu tekin inn í hönnun.
- **Skrið:** Styrktur jarðvegur er frábrugðinn steiptum stoðveggjum að því leitinu til að hreyfingar geta orðið meiri. Alltaf verður eitthvað skrið þegar álag leggst á í fyrsta skipti og þar með einnig í jarðskjálftum. Huga verður að þessu þegar framhlið er valin á vegg úr styrktum jarðvegi.
- **Íslenskt veðurfar:** Vera má að þær tíðu hitasveiflur kringum frostmakið sem einkenna íslenskt veðurfar valdi meira álagi á styrkingarefni en annars staðar.

## 8. Notkunarmöguleikar

Í ljósi þeirra kosta og galla sem nefndir eru hér að framan er rétt að skoða betur hvar styrktur jarðvegur hentar best í vegagerð.

Eftirfarandi eru algengustu notkunarviðin:

**Brýr:** Styrktur jarðvegur er víða notaður í undirstöður brúa. Ná má fram styttingu brúargólfsins með brattari köntum.



**Mynd 15: Brúarstólpar úr styrktum jarðvegi.**

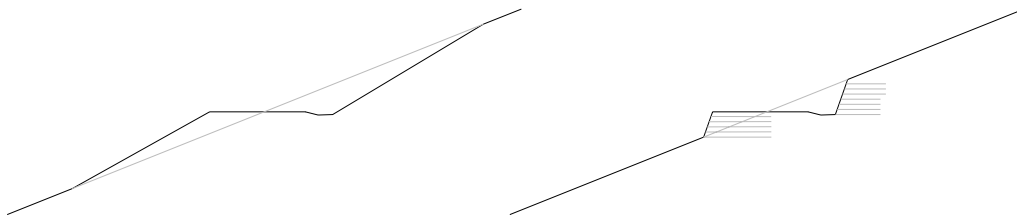
**Rampar:** Spara má umtalsvert pláss með því að nota styrktan jarðveg í rampa í stað venjulegrar fyllingar eða fláa. Getur einnig komið í stað steyptra veggja. Slík lausn gæti vel átt við í mislægum gatnamótum þar sem pláss er takmarkað og skammur byggingartími mikilvægur.

**Göngubrýr:** Á sama hátt má nota styrktan jarðveg í göngubrýr en með venjulegum fláum taka þær oft mikið pláss.



Mynd 16: Göngubrú í Garðabæ. Nostast er við steiptan stoðvegg og mikið pláss fer í fláa.

**Skeringar:** Minnka má til muna skeringar í fjalshlíð með því að nota styrktan jarðveg og hafa brattan kannnt í stað flatari fláa. Þetta má hvort sem er gera neðan við veginn eða ofan við. Heppilegra er að hafa sem mest af styrkingunni neðan við þar sem koma þarf styrkingunni fyrir.



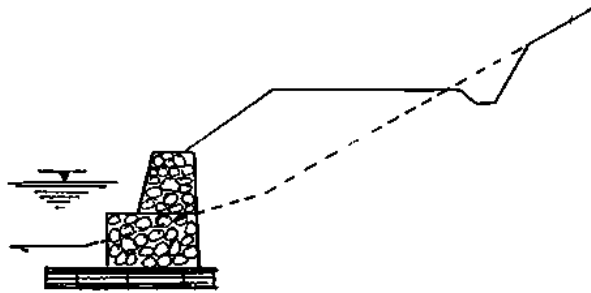
Mynd 17: Þversnið vegar í hliðarhalla með löngum fláum og með styrkum jarðvegi.



Mynd 18: Vegflái styrktur með stórgrýti á Grafningsvegi við Þingvallavatn. Hér hefði styrkur jarðvegur getað komið til greina.

**Hljóðmanir:** Mikið pláss má spara með því að gera hljóðmanir úr styrktum jarðvegi. Möguleikar í framhlið eftir óskum varðandi hljóðísog. Sjá nánar í kafla 9 um hljóðvist og -manir.

**Rofvörn og ræsi:** Nota má styrktan jarðveg í minniháttar rofvarnir þar sem erfitt er að ná í stórgrýti. Sama gildir um frágang vejræsa.



Mynd 19: Minniháttar rofvörn gerð úr grjótkörfum. Nýtist einnig sem styrking fyrir veginn.



Mynd 20: Vegræsi í Hvalfirði. Notast mætti við styrktan jarðveg í stað steypu veggjanna.

## 9. Hljóðvist og manir

Í þessum kafla verða veggir úr styrktum jarðvegi bornir saman við hefðbundna veggir með tilliti til hljóðvistar. Einnig verða hljóðmanir skoðaðar almennt í ljósi möguleikans á styrkingu jarðvegs.

Sífelld er krafist minni hljóðmengunar frá umferð. Því hafa víða verið byggðar hljóðmanir og –veggir meðfram vegum þar sem umferð er mikil og hröð og byggð lendir í mikilli hljóðmengun.

Algengast er að byggja tiltölulega flatar grasivaxnar manir úr afgangsefni, oft mold úr húsgrunnum, vegskeringum og slíku. Slíkar manir hafa oftast hallann 1:2 til 1:3 svo að unnt sé að slá grasið með vélum með góðu móti. Þar sem pláss hefur ekki leyft slíkt hefur gjarnan verið notast við steipta veggir úr tilbúnum einingum.

Mögulegt er að notast við styrktan jarðveg til að búa til hljóðvegg og spara þannig umtalsvert pláss því að ná má mun brattari kanti en án styrkingar. Hér verður kannað hvernig slíkir veggir gætu komið út.

Skoðaðar voru eftirfarandi útfærslur af hljóðvörn (allar 3m háar):

- Hefðbundin aflíðandi mön
- Mön með annarri hlið brattari en með grónu yfirborði gerð úr styrktum jarðvegi
- Steiptur veggur
- Veggur úr gabion-hleðslu

Allar útfærslurnar voru skoðaðar við sömu aðstæður. Miðað var við hávaða frá umferð sambærilegri við umferð á Kringlumýrarbraut í Reykjavík, þ.e.

- hraði 70 km/klst
- hlutfall þungra bíla 5%

- 35 þúsund bílar á sólarhring

Skoðuð var hljóðvist umhverfis þriggja hæða hús handan hljóðvarnarinnar. Gert var ráð fyrir að yfirborð mananna væri gras og hefði þá eiginleika að vera fullkomlega hljóðisogandi. Minnkun á endurkasti af steypa veggnum var metin 1 dB en 8 dB fyrir gabion-hleðsluna. Ljóst er að slík hleðsla gleypir töluvert meira hljóð í sig en steypur veggur en hér er einungis um ágiskun að ræða. Hljóðstigsmyndir úr hugbúnaðinum SoundPlan™ má sjá í viðauka A.



**Mynd 21: Dæmi um þversnið sem fengið er með hljóðvistarlíkani.**

Helstu niðurstöður þessarar athugana eru eftirfarandi:

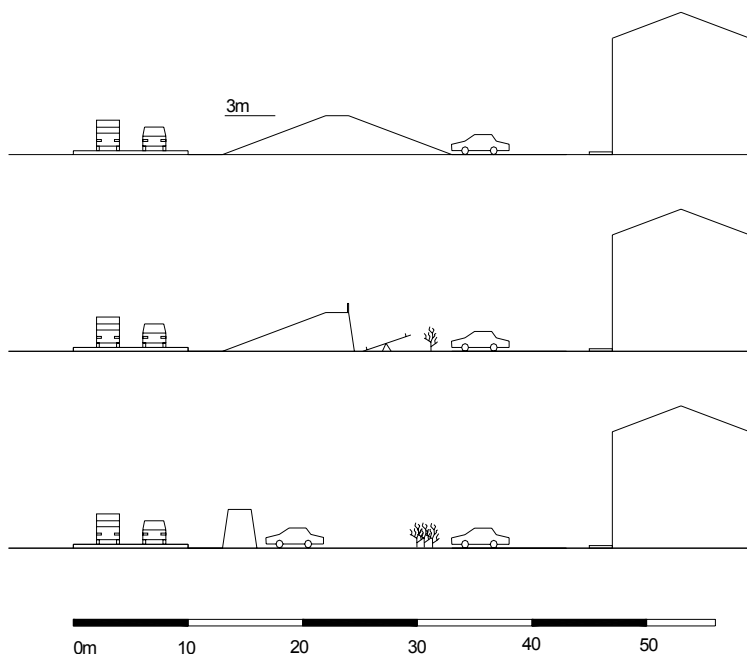
- Með því að auka bratta manarinnar vegmegin næst að minnka hljóðmengun við húsið um allt að 5 dB. Þetta stafar af því að hápunktur manarinnar er mun nær hljóðuppsprettunni með þessum hætti. Þetta er töluverð minnkun þar sem helmingun í umferð myndi einungis lækka hljóðstigið um 3 dB.
- Nær enginn munur er á hljóðvist handan hljóðvarnarinnar ef steypur veggur er settur í stað brattar manar. Hins vegar vesnar hljóðvist nokkuð hinum megin vegarins vegna mikils endurkasts, um 2 dB.
- Sé sett gabion-hleðsla í stað steypa veggjarins næst að draga úr áhrifunum hinum megin en lítil breyting verður handan varnarinnar.
- Lokst má nefna að ef bratta mönin er hækkuð um 1m næst að lækka hljóðstigið enn um 5 dB efst á húsinu. Rétt er að geta þess að slík mön er töluvert frábrugðin aflíðandi 3m hárrí mön, sérstaklega séð frá veginum.



## Hljóðmanir

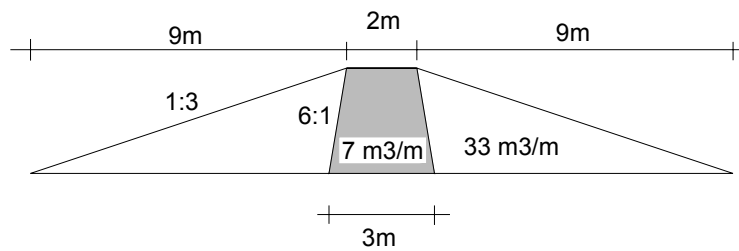
Eins og áður segir er algengast að notast við hljóðmanir úr jarðvegi. Mikið efni fer í slíkar hljóðmanir og er rétt að skoða hvort alltaf sé réttlætanlegt að nota svo mikið af efni í þær. Oft er notast við ágætis mold sem er sífellt að verða verðmætara efni. Einnig þarf að huga að öllu því landi sem fer undir aflíðandi hljóðmanir.

Með því að nota styrktan jarðveg í hljóðmanir næst að spara mikið efni og pláss, sjá mynd 22. Einnig má ætla að mikil vinna sparist við rekstur þar sem töluverður kostnaður fylgir grasslætti yfir sumartímann.



**Mynd 22: Myndin sýnir hve mikið pláss má spara með mönum sem ekki eru aflíðandi heldur úr styrktum jarðvegi.**

Mynd 23 sýnir að breidd manar má minnka úr 20m niður í 3m og rúmmálið má minnka úr  $33\text{m}^3/\text{m}$  niður í  $7\text{m}^3/\text{m}$ .



**Mynd 23: Samanburður á þversniði brattar manar og aflíðandi.**

Því má segja að kostir þess að nota styrktan jarðveg í manir séu:

- Minni efnisnotkun
- Sparnaður á landi
- Aukin hljóðvörn
- Minni rekstarkostnaður

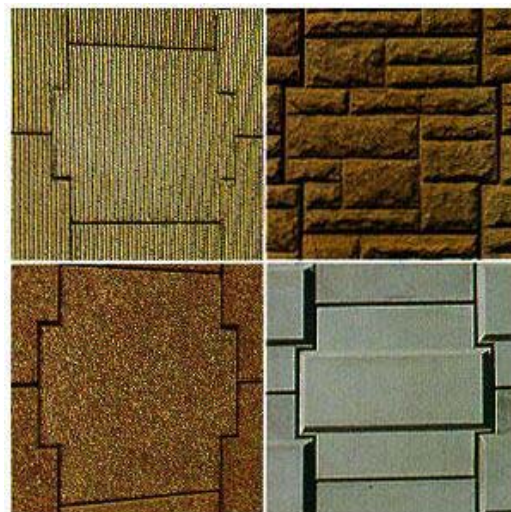
Mjög mismunandi er hversu mikils virði það er að spara landrýmið. Til dæmis mætti skoða stað þar sem aflíðandi mön hefur verði reist í upphafi. Síðan hefur þörfin á bílastæðum aukist það mikið að bílastæðahús er til skoðunar. Hvert stæði í slíku húsi gæti kostað allt að 3milljónir. Með því að mjókka mönina mætti því ná fram miklum sparnaði.



**Mynd 24: Vel má halda grónu yfirborði þótt bratti sé mikill.**

## 10. Val á framhlið eftir aðstæðum

- Styrktur jarðvegur býður upp á fjölbreytni í vali á framhliðum. Þetta má nýta til að nálgast betur þær þarfir sem til staðar eru hverju sinni. Helstu atriði sem hægt er að skoða eftir aðstæðum eru:
- **Styrkur:** Misjafnt er hve miklar kröfur eru gerðar til framhliðarinnar varðandi styrk. Til dæmis þarf framhlið þar sem líkur eru á árekstri bíla að hafa hærri styrk en kantur í garði.
- **Ending:** Endingartími fer mikið eftir umhverfinu sem framhliðin er í. Ef um járn er að ræða þarf að huga að seltu og slíkum þáttum. Plast getur skaðast af sólarljósi og alltaf þarf að hafa í huga að skemmdarvargar gætu látið til skarar skriða.
- **Áferð og litur:** Segja má að engin takmörk séu í vali á áferð og lit framhliða. Setja má upp grindur sem festa má á nánast hvað sem er, steiptar einingar geta verið grófar og sléttar og gras, runnar og grjót má setja bak við grindur. Útlitshönnuðir geta því látið gamminn geysa hvað þetta varðar. Almennt má segja að styrktur jarðvegur bjóði upp á að nota náttúrulegri efni í stoðveggi en steinsteypu.



Mynd 25: Ýmsir möguleikar í lit og áferð á steiptum einingum.

- **Bratti:** Brattinn fer mikið eftir þeirri lausn sem valin er. Steyptar einingar eru nær alltaf lóðréttar en hleðslur, grindur og net oftast með svolitlum halla. Körfur (gabions) má hafa hvort sem er hallandi eða lóðréttar.
- **Hljóðvist:** Eins er með hljóðvistina og annað, hægt er að velja úr miklu úrvali. Steyptar einingar hafa svipaða eiginleika og steyptir veggir en eru þó massaminni. Til eru einingar sem hafa mjög mikið ísog. Gróthleðslur hverskonar gleypa í sig mikið hljóð sem og gróið yfirborð.
- **Öryggi:** Þar sem bratti er mikill þarf að huga að öryggi barna og gangandi vegfarenda. Sé hægt að ganga út að brún kants þarf að vera handrið eins og sést á mynd 26 hér að neðan. Einnig er rétt að huga að því að börn gætu klifrað í grindum hvers konar.



Mynd 26: Brött hleðsla þar sem gróður leikur stórt hlutverk.

## 11. Samanburður með tilliti til kostnaðar

Í þessum kafla er leitast við að fá sem nákvæmastan samanburð á styrktum jarðvegi og hefðbundnum lausnum með tilliti til kostnaðar.

Skoðaðir eru tveir stoðveggir, annar 5m hár og hinn 2m hár. Þeir eru hannaðir á fjóra vegu:

- hefðbundinn steiptur stoðveggur
- styrktur jarðvegur með stálgrindum og grjóthleðslu [8]
- styrktur jarðvegur með forsteiptum einingum [12]
- styrktur jarðvegur með grjótkörfum [7]

5m veggur er nokkuð hár en gæti verið notaður í umferðarmannvirkum, til dæmis í mislægum gatnamótum. 2m hái veggurinn gæti átt við víðar, til dæmis þar sem akreinar eru misháar.



**Mynd 27: Veggur úr stálgrindum með grjóthleðslu.**

Niðurstöðurnar má síðan nota til að heimfæra á raunveruleg verkefni og skoða hvort ná hefði mátt fram sparnaði.

Gengið er út frá þeim aðstæðum sem sjást á myndum í viðauka B. Fyrir er náttúruleg brekka með lífrænum jarðvegi sem þarf að skipta um. Dýpi niður á fast berg er 2,5m. Miðað er við að álag frá bílaumferð verki ofan á fyllinguna. Einingaverð eru fengin úr nýlegum kostnaðaráætlunum, en einnig var fengin aðstoð sérfræðinga tækni- og gæðadeildar BM-Vallá ehf við að meta verð á forsteyptum einingum sem ekki hafa verið framleiddar hérlandis. Steyptu stoðveggirnir eru hannaðir með hefðbundnum hætti og eru eins og í mörgum umferðarmannvirkjum hérlandis.

Tafla 1 sýnir niðurstöður kostnaðarreikinganna fyrir 5m háan vegg en tafla 2 fyrir 2m vegginn.



<b>Kostnaður við einn lengdarmetra af 5m háum stoðvegg</b>				
<b>1. Steyptur stoðveggur</b>				
<b>Kostnaðarliður</b>	<b>ein.</b>	<b>magn</b>	<b>kr./ein.</b>	<b>verð</b>
steypa	m <sup>3</sup>	4,8	23500	112.800 kr.
stál	kg	720	170	122.400 kr.
mót	m <sup>2</sup>	12	4700	56.400 kr.
ylling	m <sup>3</sup>	36	1200	43.200 kr.
gröftur	m <sup>3</sup>	22	350	7.700 kr.
<b>alls:</b>				<b>342.500 kr.</b>
<b>2. Stoðveggur úr grindum með grjóti</b>				
<b>Kostnaðarliður</b>	<b>ein.</b>	<b>magn</b>	<b>kr./ein.</b>	<b>verð</b>
grindur og stálræmur	m <sup>2</sup>	5,5	11250	61.875 kr.
jarðdúkur	m <sup>2</sup>	5,5	1000	5.500 kr.
grjót	m <sup>3</sup>	2,8	4000	11.200 kr.
ylling*	m <sup>3</sup>	38	1700	64.600 kr.
gröftur	m <sup>3</sup>	22	350	7.700 kr.
<b>alls:</b>				<b>150.875 kr.</b>
<b>3. Stoðveggur úr forsteyptum einingum</b>				
<b>Kostnaðarliður</b>	<b>ein.</b>	<b>magn</b>	<b>kr./ein.</b>	<b>verð</b>
forsteyptar einingar	m <sup>2</sup>	5,5	25000	137.500 kr.
stálræmur	m	56	400	22.400 kr.
undirstaða	m <sup>3</sup>	0,43	23500	10.105 kr.
ylling*	m <sup>3</sup>	41	1700	69.700 kr.
gröftur	m <sup>3</sup>	23	350	8.050 kr.
<b>alls:</b>				<b>247.755 kr.</b>
<b>4. Stoðveggur úr gjótkörfum</b>				
<b>Kostnaðarliður</b>	<b>ein.</b>	<b>magn</b>	<b>kr./ein.</b>	<b>verð</b>
körfur	m <sup>2</sup>	5,5	1800	9.900 kr.
jarðdúkur	m <sup>2</sup>	5,5	1000	5.500 kr.
grjót	m <sup>3</sup>	5,5	4000	22.000 kr.
ylling*	m <sup>3</sup>	39	1700	66.300 kr.
gröftur	m <sup>3</sup>	23	350	8.050 kr.
<b>alls:</b>				<b>111.750 kr.</b>

\* Fylling dýrari vegna lagningar styrkingar og þjöppunar

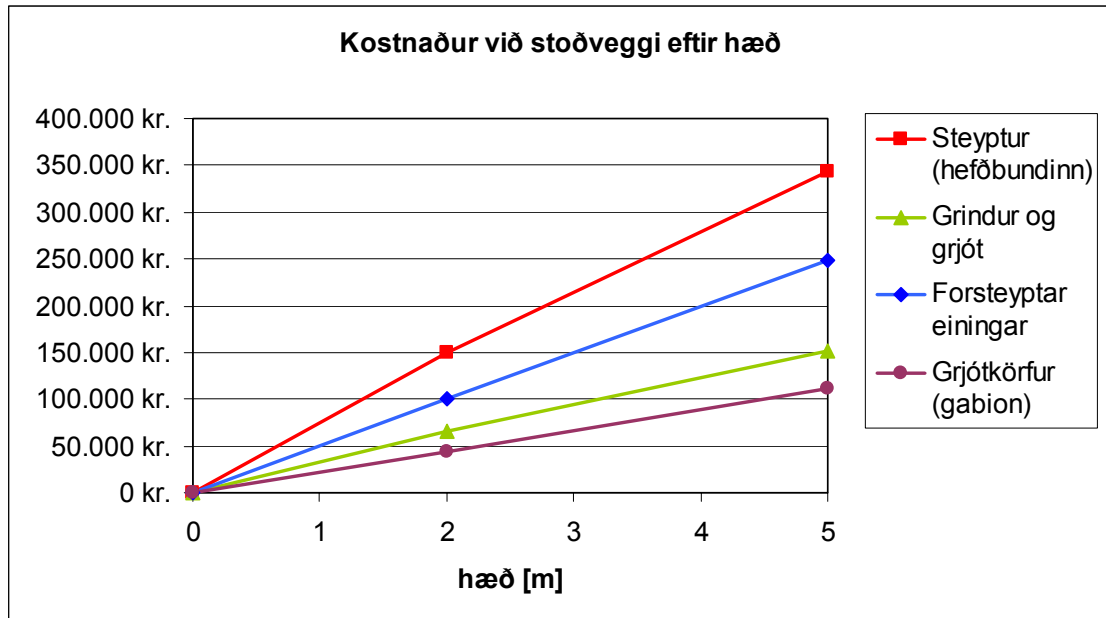
**Tafla 1: Reiknaður kostnaður 5m hárra veggja.**

<b>Kostnaður við einn lengdarmetra af 2m háum stoðvegg</b>				
<b>1. Steyptur stoðveggur</b>				
<b>Kostnaðarliður</b>	<b>ein.</b>	<b>magn</b>	<b>kr./ein.</b>	<b>verð</b>
steypa	m <sup>3</sup>	2	23500	47.000 kr.
stál	kg	300	170	51.000 kr.
mót	m <sup>2</sup>	6,2	4700	29.140 kr.
ylling	m <sup>3</sup>	15	1200	18.000 kr.
gröftur	m <sup>3</sup>	12	350	4.200 kr.
<b>alls:</b>				<b>149.340 kr.</b>
<b>2. Stoðveggur úr grindum með grjóti</b>				
<b>Kostnaðarliður</b>	<b>ein.</b>	<b>magn</b>	<b>kr./ein.</b>	<b>verð</b>
grindur og stálræmur	m <sup>2</sup>	2,5	11250	28.125 kr.
jarðdúkur	m <sup>2</sup>	2,5	1000	2.500 kr.
grjót	m <sup>3</sup>	1,2	4000	4.800 kr.
ylling*	m <sup>3</sup>	15	1700	25.500 kr.
gröftur	m <sup>3</sup>	12	350	4.200 kr.
<b>alls:</b>				<b>65.125 kr.</b>
<b>3. Stoðveggur úr forsteyptum einingum</b>				
<b>Kostnaðarliður</b>	<b>ein.</b>	<b>magn</b>	<b>kr./ein.</b>	<b>verð</b>
forsteyptar einingar	m <sup>2</sup>	2,5	25000	62.500 kr.
stálræmur	m	20	400	8.000 kr.
ylling*	m <sup>3</sup>	15	1700	25.500 kr.
gröftur	m <sup>3</sup>	12	350	4.200 kr.
<b>alls:</b>				<b>100.200 kr.</b>
<b>4. Stoðveggur úr gjótkörfum</b>				
<b>Kostnaðarliður</b>	<b>ein.</b>	<b>magn</b>	<b>kr./ein.</b>	<b>verð</b>
körfur	m <sup>2</sup>	2,5	1800	4.500 kr.
jarðdúkur	m <sup>2</sup>	2,5	1000	2.500 kr.
grjót	m <sup>3</sup>	2	4000	8.000 kr.
ylling*	m <sup>3</sup>	15	1700	25.500 kr.
gröftur	m <sup>3</sup>	12	350	4.200 kr.
<b>alls:</b>				<b>44.700 kr.</b>

\* Fylling dýrari vegna lagningar styrkingar og þjöppunar

**Tafla 2: Reiknaður kostnaður 2m hárra veggja.**

Mynd 28 sýnir samanburð á kostnaði.



Mynd 28: Gefur vísbendingu um hvernig kostnaður breytist með hæð veggjar.

Af þessu sést að hefðbundinn steypur stoðveggur er langdýrasti kosturinn bæði fyrir 5m háan vegg og 2m háan. Í 5m veggnum kostar hver fermetri af steyptra veggnum um 70.000 kr. en fermetrinn af vegg úr styrktum jarðvegi liggur nærri 25.000 kr. Niðurstaðan er svipuð fyrir 2m vegginn. Búast hefði mátt við að kostnaður við steyptra vegginn væri ekki svo línulegur, þ.e. að fermetraverðið ryki upp með hæð veggjarins. Ástæðan liggur m.a. í því að 2m veggurinn er í raun yfirhannaður þar sem sum mál í honum eru aldrei höfð minni en ákveðin lágmark. Búast má við að kostnaðurinn rjúki upp þegar hæðin fer upp fyrir 5m.

Hins vegar má segja að kostnaður við hvern fermetra af styrktum jarðvegi haldist nokkuð jafn þar sem eina stærðin sem breytist með hæð er lengd og umfang styrkingarinnar inn í bakfyllinguna. Þetta er ástæðan fyrir því að styrktur jarðvegur verður sífellt vænlegri kostur fyrir hærri vegg. Dæmi eru um allt að 45m háa vegg úr forsteyptum einingum (aðþjóðaflugvöllurinn í Seattle USA).

## 12. Niðurstöður

Í þessum kafla eru helstu niðurstöður þessarar skýrslu um notkun styrkts jarðvegs í vegagerð á Íslandi teknar saman.

- Notkun styrkts jarðvegs í vegagerð fer vaxandi í nágrennalöndunum.
- Nokkru munar á eiginleikum þess að nota styrktan jarðveg eða steypa vegg í mannvirki á borð við brýr. Hreyfingar eru meiri í styrktum jarðvegi og þurfa þær ekki að þýða skemmdir í mannvirkinu.
- Margt bendir til þess að styrktur jarðvegur þoli jarðskjálfta vel.
- Helstu kostir við styrkan jarðveg í vegagerð eru taldir vera þeir að kostnaður sé minni, byggingarhraði meiri og verkið sé einfaldara en að steypa vegg. Einnig býður styrktur jarðvegur upp á mikið val í útliti og áferð.
- Helstu ókostir eru taldir vera óvissa með endingu og hönnunaraðferðir, hreyfingar og erfiðleikar við viðgerðir.
- Styrktan jarðveg mætti til dæmis nota í brýr, rampa, vegfláa, hljóðmanir, rofvarnir og með veigræsum.
- Styrktur jarðvegur hentar sérlega vel í hljóðvarnir þar sem lítið pláss fer í slíkar manir, gróið yfirborð og grjóthleðslur hafa ágæta hljóðeiginleika og með meiri bratta má mun betur skerma hljóðuppsprettur af en með aflíðandi mönum.
- Kostnaðargreining á hefðbundnum steypum stoðvegg og þremur útfærslum á styrkum jarðvegi leiðir í ljós að steypur stoðveggur er yfir tvöfalt dýrari lausn en styrktur jarðvegur. Þessi munur er svipaður fyrir 2m háan vegg og 5m háan.

Ljóst er að styrktur jarðvegur getur vel átt við sem valkostur við steypa vegg í mannvirkjum í vegagerð á Íslandi. Þó þarf að skoða hvert tilfelli fyrir sig þar sem að ýmsu er að hyggja.

## 13. Heimildaskrá

### Ritaðar heimildir

- [1] Robert M. Koerner, 1990. *Designing with Geosynthetics*. Önnur útgáfa. Prentice Hall, USA.
- [2] Braja M. Das, 1999. *Principles of Foundation Engineering*. Fjórða útgáfa. PWS Publishing, USA.
- [3] Nordic Geosynthetic Group, 2003. *Nordic Guidelines for Reinforced Soils and Fills*. The Nordic Geotechnical Societies, Nordic Industrial Fund.
- [4] Paul D. Passe, 2000. *Mechanically Stabilized Earth Handbook*. Department of Transportation, Florida, USA.
- [5] Tony M. Allen, 2001. Prediction of Soil Reinforcement Loads in Mechanically Stabilized Earth (MSE) Walls. Washington State Department of Transportation, Washington, USA.

### Á Veraldarvefnum

- [6] The Geosynthetic Institute: <http://www.geosynthetic-institute.org/>
- [7] Maccaferri s.p.a.: <http://www.maccaferri-usa.com/>
- [8] The Reinforced Earth Company: <http://www.reinforcedearth.com/>
- [9] Tensar Earth Technologies, Inc: <http://www.tensarcorp.com/>
- [10] Presto Products Company – Geosystems: <http://www.prestogeo.com/>
- [11] Husker Synthetic UK: <http://www.huesker.com/>

### Munnlegar heimildir

[12] Starfsmenn tækni- og gæðadeildar BM-Vallá ehf.

14.



## Viðaukar

- A. Hljóðvistarathuganir með SoundPlan hugbúnaðinum**
- B. Teikningar af stoðveggjum**

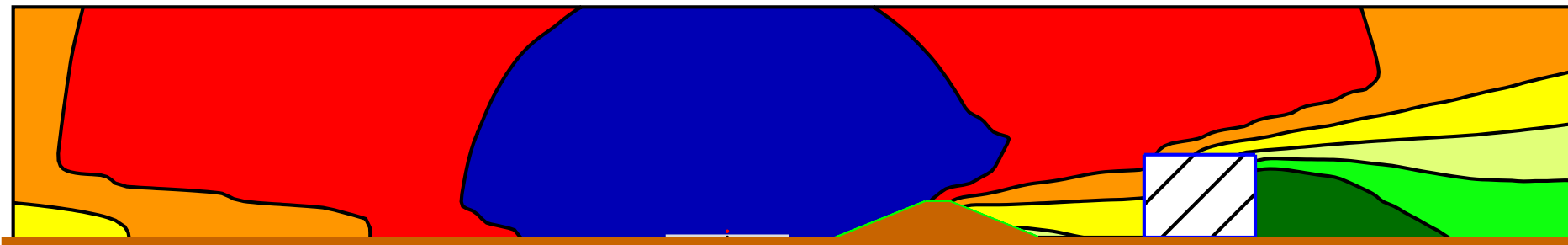
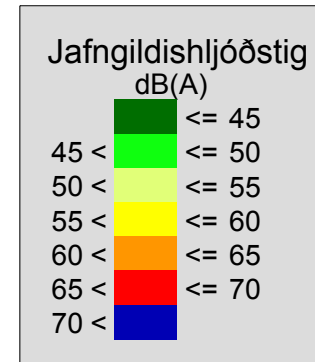
**A. Hljóðvistarathuganir með SoundPlan hugbúnaðinum**

1. Afliðandi mön
2. Brött mön
3. Steyptur veggur
4. Gabion veggur
5. Mismunur á afliðandi mön og brattri mön
6. Mismunur á afliðandi mön og steyptum vegg
7. Mismunur á steyptum vegg og Gabion vegg
8. Mismunur á brattri mön 3m og 4m á hæð

## **B. Teikningar af stoðveggjum**

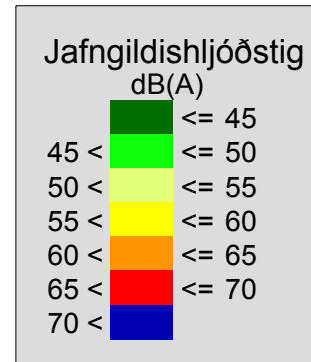
1. Hefðbundinn steypur stoðveggur
2. Stoðveggur út forteyptum einingum
3. Stoðveggur úr grindum með grjóti
4. Stoðveggur úr grjótkörfum (e. gabions)

# Aflíðandi mön



<b>Skýringar</b> Hæðarlínur Gata Hljóðvarnir Hús	Verk: <b>Styrktur jarðvegur</b>	Verkkaupti: <b>Vegagerðin</b>
	<b>Kvarði 1:500</b> 	
<b>Jafngildishljóðstig</b>	Reiknað: BK / RS	Dags: 19.06.03





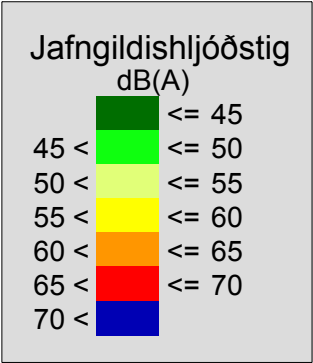
# Brött mön



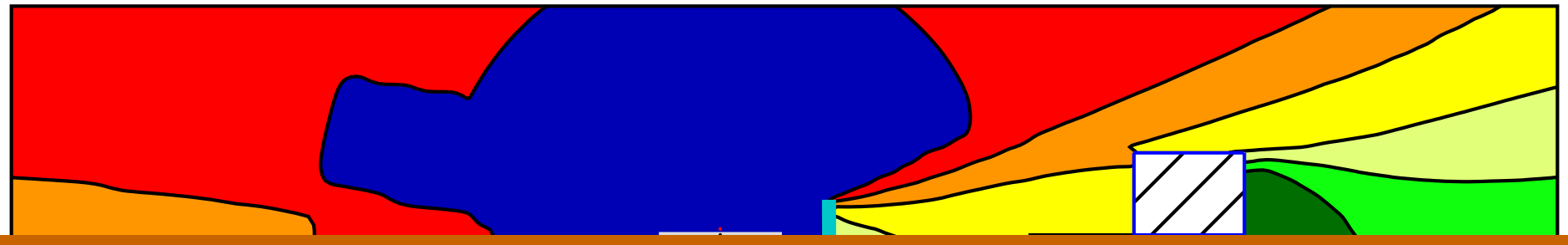
<b>Skýringar</b> Hæðarlínur Gata Hljóðvarnir Hús	Verk: <b>Styrktur jarðvegur</b>	Verkkaupti: <b>Vegagerðin</b>
	<b>Kvarði 1:500</b> 	
<b>Jafngildishljóðstig</b>	Reiknað: BK / RS	Dags: 19.06.03

..





### Steyptur veggur

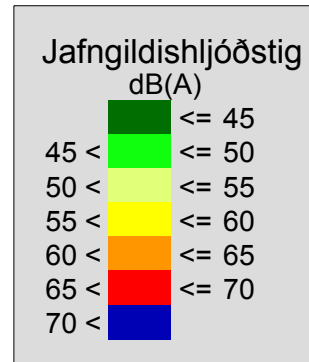


<b>Skýringar</b> Hæðarlínur Gata Hljóðvarnir Hús	Verk: <b>Styrktur jarðvegur</b>	Verkkaupi: <b>Vegagerðin</b>
	<b>Kvarði 1:500</b> 	
<b>Jafngildishljóðstig</b>	Reiknað: BK / RS	Dags. 19.06.03





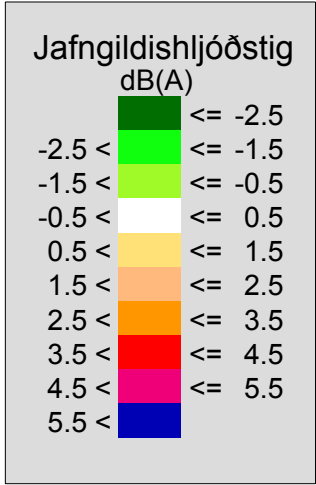
# Gabion veggur



<b>Skýringar</b> Hæðarlínur Gata Hljóðvarnir Hús	Verk: <b>Styrktur jarðvegur</b>	Verkkaupi: <b>Vegagerðin</b>
	<b>Kvarði 1:500</b> 	
<b>Jafngildishljóðstig</b>	Reiknað: BK / RS	Dags: 19.06.03

..



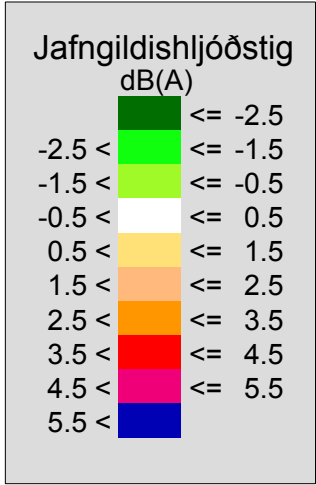


Mismunur á aflíðandi mön og brattri mön

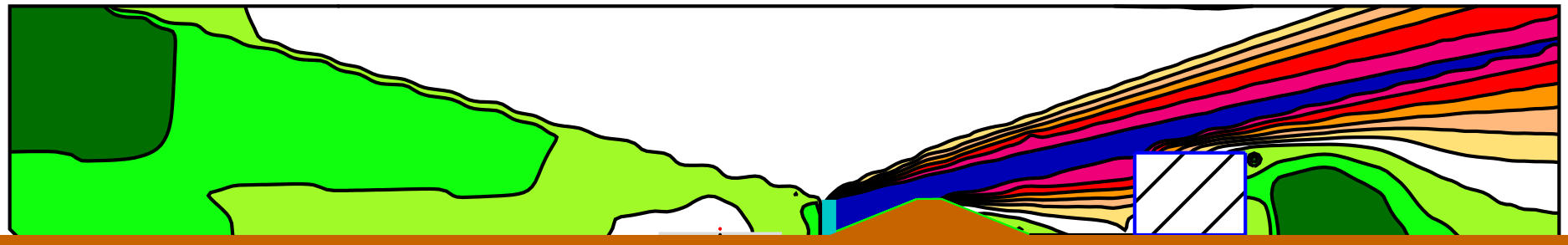


<b>Skýringar</b> Hæðarlínur Gata Hljóðvarnir Hús	Verk: <b>Styrktur jarðvegur</b>	Verkkaupti: <b>Vegagerðin</b>
	<b>Kvarði 1:500</b> 	
	Reiknað: BK / RS	Dags. 19.06.03



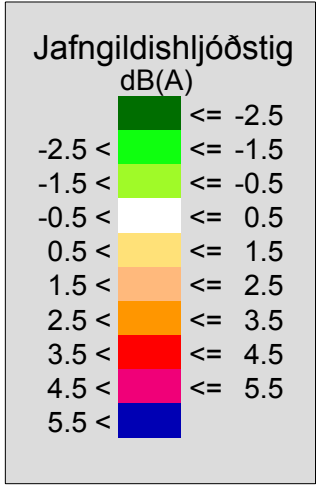


Mismunur á aflíðandi mön og  
steyptum vegg

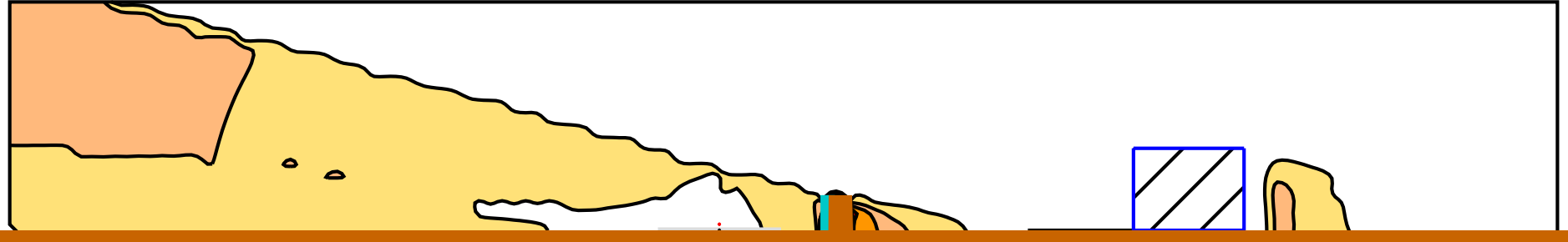


<b>Skýringar</b> Hæðarlínur Gata Hljóðvarnir Hús	Verk: <b>Styrktur jarðvegur</b>	Verkkaupti: <b>Vegagerðin</b>
	<b>Kvarði 1:500</b> 	
	Reiknað: BK / RS	Dags. 19.06.03





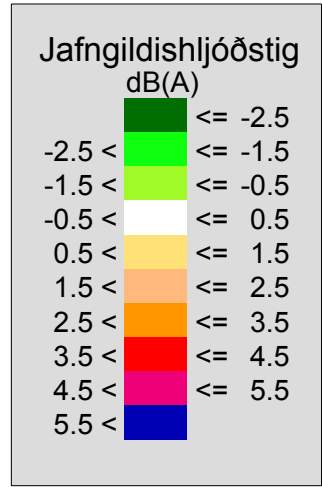
Mismunur á steiptum vegg og Gabion vegg



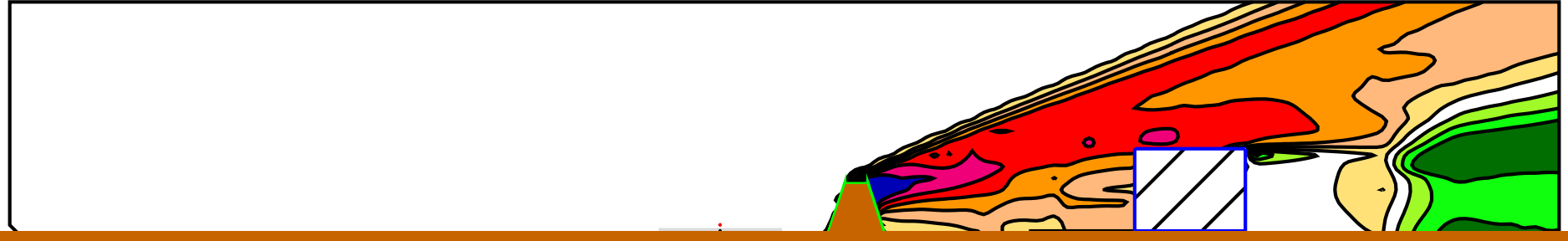
<p>Skýringar</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hæðarlínur</li> <li>Gata</li> <li>Hljóðvarnir</li> <li>Hús</li> </ul> <p>Jafngildishljóðstig</p>	<p>Verk:</p> <p>Styrktur jarðvegur</p>	<p>Verkkaupi:</p> <p>Vegagerðin</p>
		<p>Kvarði 1:500</p>
	<p>Reiknað:</p> <p>BK / RS</p>	<p>Dags:</p> <p>19.06.03</p>

..





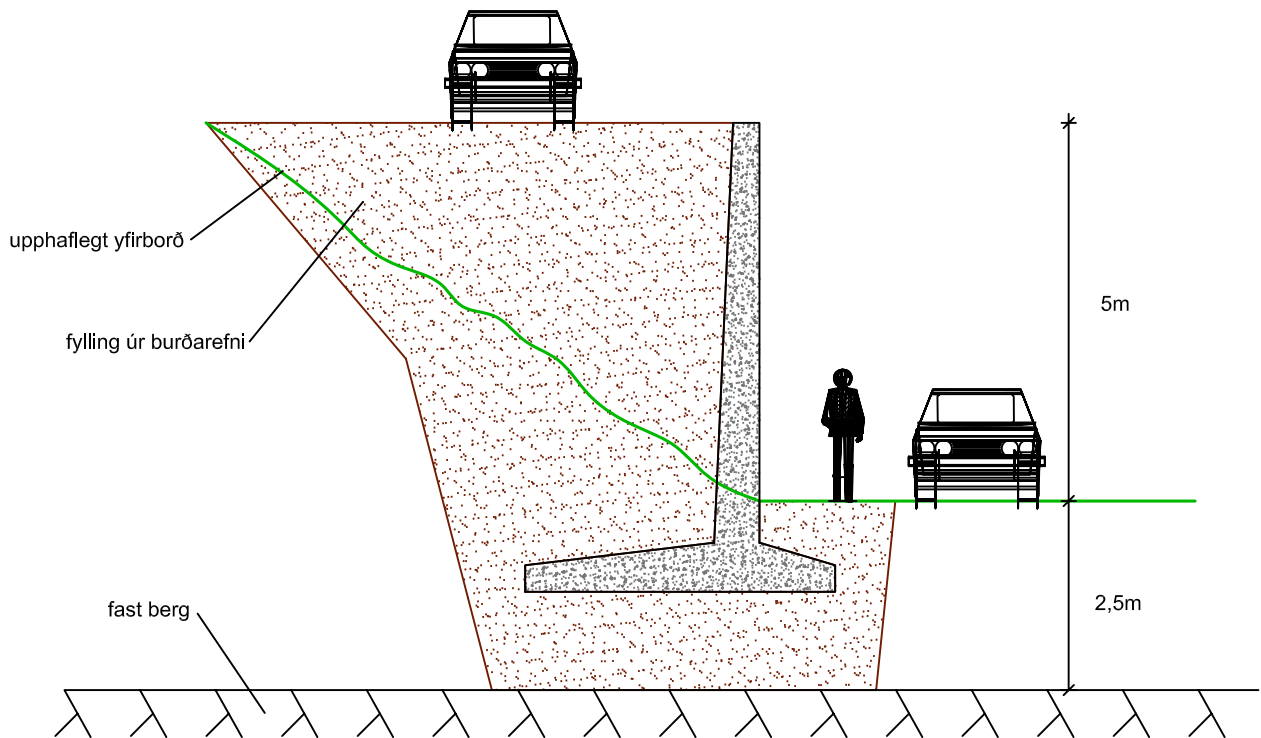
Mismunur á brattri mön 3m og 4m  
á hæð



<b>Skýringar</b> Hæðarlínur Gata Hljóðvarnir Hús	Verk: <b>Styrktur jarðvegur</b>	Verkkaupi: <b>Vegagerðin</b>
	<b>Kvarði 1:500</b> 	
	Reiknað: BK / RS	Dags. 19.06.03

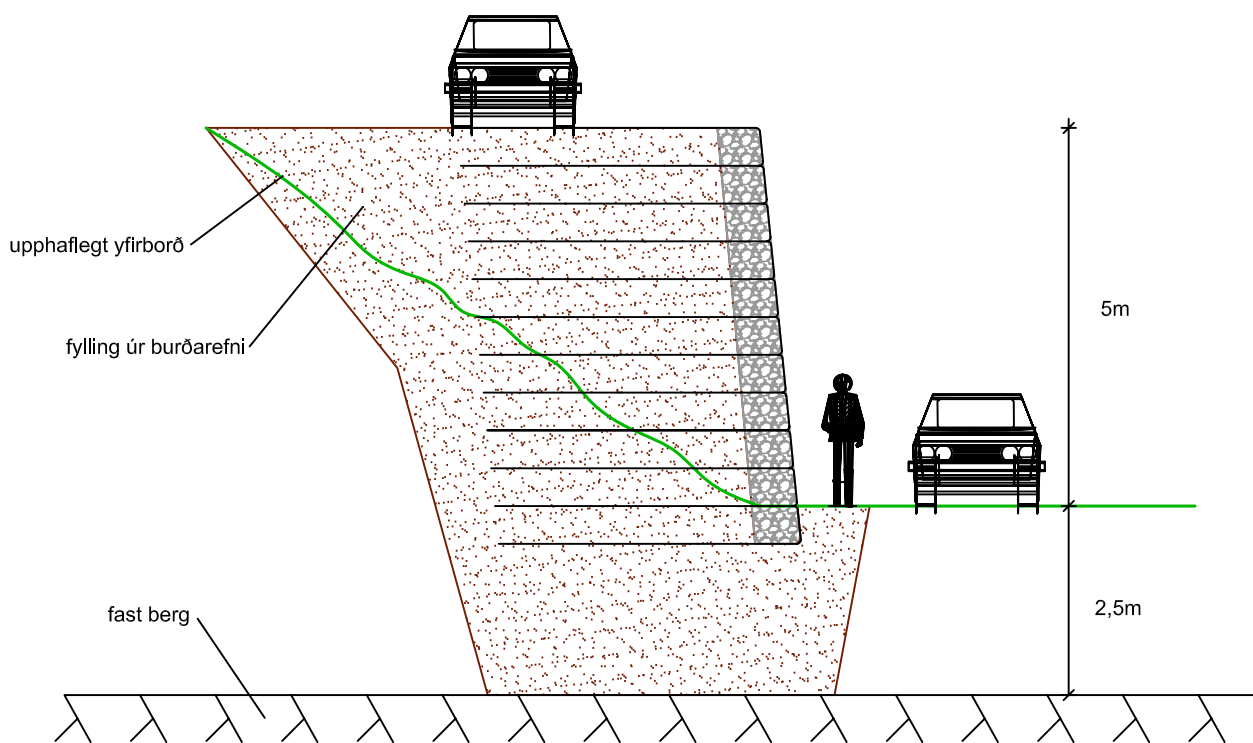


# Hefðbundinn steypur stoðveggur

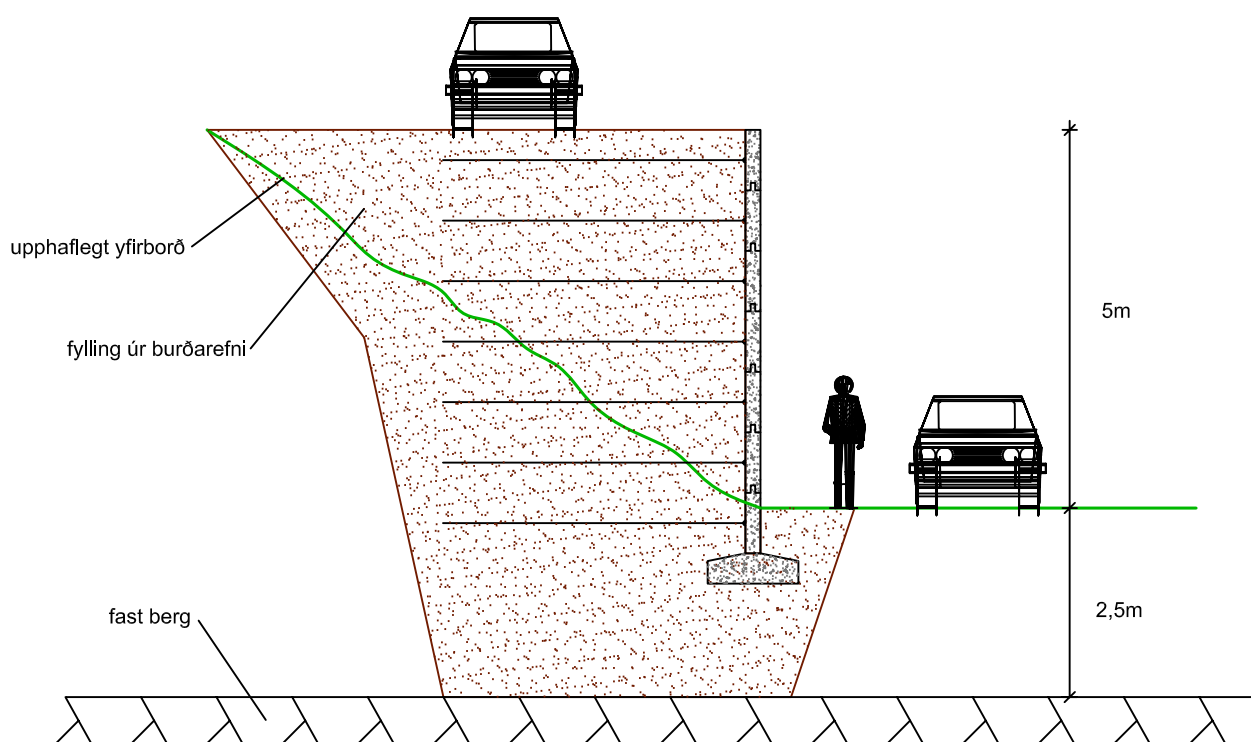




# Stoðveggur úr grindum með grjóti



# Stoðveggur út forsteyptum einingum



# Stoðveggur úr grjótkörfum (e. gabions)

