



Efnisrannsóknir og efniskröfur

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Kaflí 1	Formáli
Kaflí 2	Inngangur
Kaflí 3	Fylling
Kaflí 4	Styrktarlag (janúar 2012)
Kaflí 5	Burðarlag
Kaflí 6	Slitlag
Kaflí 7	Steinsteypa

Viðauki 1	Lýsing á prófunaraðferðum
Viðauki 2	Efnisgerðir sem notaðar eru við vega- og gatnagerð
Viðauki 3	Jarðmyndanir og notkunarhæfni þeirra til vegagerðar
Viðauki 4	Upphafsprófanir, framleiðslueftirlit og frávíkskröfur
Viðauki 5	Sýnataka
Viðauki 6	Vinnsluaðferðir
Viðauki 7	Orðalisti – skilgreiningar og skýringar
Viðauki 8	Ýtarefni um malbik



Efnisyfirlit:

	bls.
4 Styrktarlag.....	4-1
4.1 <i>Hlutverk, lagskipting, eiginleikar og efnisgerðir.....</i>	4-1
4.2 <i>Próf við hönnun.....</i>	4-3
4.2.1 Verkferlar.....	4-3
4.2.2 Steinefnapróf.....	4-6
4.2.3 Próf á efnismassa.....	4-8
4.2.4 Fjöldi prófa við hönnun.....	4-9
4.3 <i>Próf við framleiðslu.....</i>	4-10
4.3.1 Verkferlar.....	4-10
4.3.2 Steinefnapróf.....	4-11
4.3.3 Próf á efnismassa.....	4-11
4.3.4 Tíðni prófa við framleiðslu.....	4-11
4.4 <i>Próf og mælingar við framkvæmd.....</i>	4-12
4.4.1 Verkferlar.....	4-12
4.4.2 Steinefnapróf.....	4-14
4.4.3 Próf og mælingar.....	4-14
4.4.4 Tíðni prófa við framkvæmd.....	4-16
4.5 <i>Kröfur.....</i>	4-17
4.5.1 Kröfur til steinefna.....	4-17
4.5.2 Kröfur til efnismassa.....	4-21
4.5.3 Kröfur við framkvæmd.....	4-23

4 Styrktarlag

4.1 *Hlutverk, lagskipting, eiginleikar og efnisgerðir*

Hlutverk styrktarlags er ásamt burðarlagi, að dreifa umferðarlagi á undirbygginguna þannig að ekki komi fram formbreytingar á slitlaginu. Meiri kröfur eru gerðar til efnis í styrktarlag, en fyllingu.

Styrktarlagi er oft skipt í tvo hluta, þar sem meiri kröfur eru gerðar til efnis í efri hlutanum. Kröfur til efnis í neðri hluta þess eru aðallega að það sé ekki næmt fyrir frostáhrifum en auk þess eru kröfur um steinastærðir og lögun kornakúrfu (Cu-gildis, sjá viðauka með lýsingu á mælingu kornadreifingar). Til efri hluta styrktarlags eru gerðar meiri kröfur, sbr. kafla 4.5.

Í styrktarlag eru notuð eins góð efni og völ er á og ef notuð eru misgóð efni skal nota betra efnið í efri hlutann. Efnisgerðir sem koma til greina eru bæði set og berg og einnig getur komið til greina að nota endurunnin efni, að undangengnum sérstökum athugunum. Endurunnin efni hafa ekki verið mikið notuð hérlandis en dæmi um slík efni eru mulin steinsteypa og malbik úr gömlum vegum.

Steinefni úr setmyndunum er oft notað óunnið í styrktarlag og eru þá valdar jarðmyndanir þar sem efnið er með hæfilegu magni fínefna og góða kornadreifingu fyrir styrktarlag. Á undanförunum árum hefur færst mjög í vöxt að efni í efri hluta styrktarlags sé malað eða harpað til að uppfylla kröfur um kornastærð en slík vinnsla getur verið nauðsynleg ekki síst á sprengdu bergi.

Sprengt grjót úr námum og skeringum er í vaxandi mæli notað í styrktarlag. Grjót sem springur að verulegu leyti niður í kornastærðir sem eru minni en 200 – 250 mm í þvermál er oft hægt að nota án frekari vinnslu, en það er þó háð þykkt styrktarlagsins. Algengt hefur verið að nota hraunkarga, sem er í efstu 2-3 m apalhrauna, í styrktarlag og hefur slíkt efni reynst vel þrátt fyrir að styrkur þess sé fremur lágur þar sem efnið er gropið. Hins vegar brotnar hraunkarginn niður í sand og malarstærðir á verk tíma undan völtun og vinnuumferð og myndar þannig stöðugt lag vegna þess hversu hrjúf og köntótt bergkornin eru, auk þess sem kornakúrfan lagast við niðurbrot efnisins. Bólstraberg og bólstrabrotaberg hefur einnig reynst vel í styrktarlag og er oft hægt að rippa efnið niður í hæfilegar stærðir sem m.a. má nota sem púkk, en það getur haft svipaða burðareiginleika og hraunkargi og grófmalað efni. Vinnsla á hraunklöpp (hraunið undir gjallkarganum) hefur einnig farið vaxandi og er vinnslan sambærileg við vinnslu úr öðrum bergnámum, þ.e. með sprengingu.

Hentugt getur verið að miða við D'_{98} ¹ fyrir óunnið og óflokkað efni. D'_{98} í styrktarlagi má mest vera 2/3 af lagþykktinni. Fyrir malað eða flokkað efni er æskilegt að miða við efri flokkunarstærð (D) og skal hún ekki vera meiri en helmingur af lagþykktinni. Stærstu steinar (D'_{98}) skulu ekki vera stærri en 250 mm. Ef styrktarlaginu er skipt í efra og neðra styrktarlag verður efra lagið að vera minnst 150 mm þykkt. Gera má ráð fyrir að oftast þurfi að flokka eða mala sprengt grjót í styrktarlag til að uppfylla áður nefnd ákvæði um steinastærð. Tafla 4.1 sýnir algenga stærðaflokka efnis sem notað er í styrktarlag.

Tafla 4-1: Algengir stærðaflokkar (d/D) efnis sem unnið er í styrktarlag

Óflokkað efni, mm	Flokkað efni, mm
0/45	
0/63	
0/90	22/90*
0/125	22/125*
0/180	22/180*

**Stærðaflokkar sem geta hentað vel fyrir sprengt og flokkað grjót þar sem fínefnaríkur millimassi hefur verið flokkaður frá.*

Kröfur eru gerðar til efnis í styrktarlagi um kornadreifingu, húmusinnihald, gæðaflokkun samkvæmt berggreiningu og styrk efnisins. Auk þess mega efnin ekki mælast þjál samkvæmt þjálniprófi (sjá kafla 4.5)

Í skýrslunni „Notkun bergs til vegagerðar – vinnsla, efniskröfur og útlögn“ er ýtarleg umfjöllun um notkun sprengds bergs sem ekki er endurtekin hér nema að litlu leyti. Í skýrslunni eru einnig upplýsingar um síukröfur, en þær eru einnig settar fram í inngangskafli þessa rits.

¹ D'_{98} tengist ekki D sem er efri flokkunarstærð í framleiðslustaðli ÍST EN 13242. D'_{98} táknar möskvastærð (mm) í sigti sem minnst 98 % steinefnisins smjúga og er hentugt mat á stærð stærstu steina í efninu.

4.2 Próf við hönnun

Próf við hönnun, annars vegar steinefnapróf og hins vegar próf á efnismassanum, eru gerð til að fá upplýsingar um eiginleika efnisins með tilliti til notkunar í styrktarlag. Mikilvægt er að framkvæma ýtarlegar prófanir þegar fyrirhuguð er efnistaka á nýjum efnistökuastað. Ef efnisnám er fyrirhuguð á námusvæði sem er í stöðugri vinnslu skulu nýlegar niðurstöður efnisrannsókna liggja fyrir á hönnunarstigi. Á forhönnunarstigi getur þurft að velja milli mögulegra námusvæða og er það gert á grundvelli efnisgæða en ávalt er mikilvægt að taka fullt tillit til umhverfissjónarmiða við val á efnistökuastað og áætlun um tilhögun efnistöku.

Steinefnaprófanir eru gerðar til að fá upplýsingar um almenna eiginleika efnisins. Eiginleikum má skipta í tvennt, annars vegar berggerð og ásýnd bergs og hins vegar berggæði. Með steinefnaprófum eru skoðuð gæði einstakra korna eða hóps korna í efninu og út frá niðurstöðum þeirra er hægt að meta almennt gæði efnisins með tilliti til notkunar í styrktarlag.

Próf á efnismassa (efnisheild) eru gerð til að fá upplýsingar um hvernig efnið hegðar sér sem heild við þjöppun og eftir að það hefur verið þjappað. Í sumum tilvikum eru gerð próf á efnismassa, til að sannreyna hvort efni geti verið nothæft í styrktarlag, þó það standist ekki kröfur um kornadreifingu.

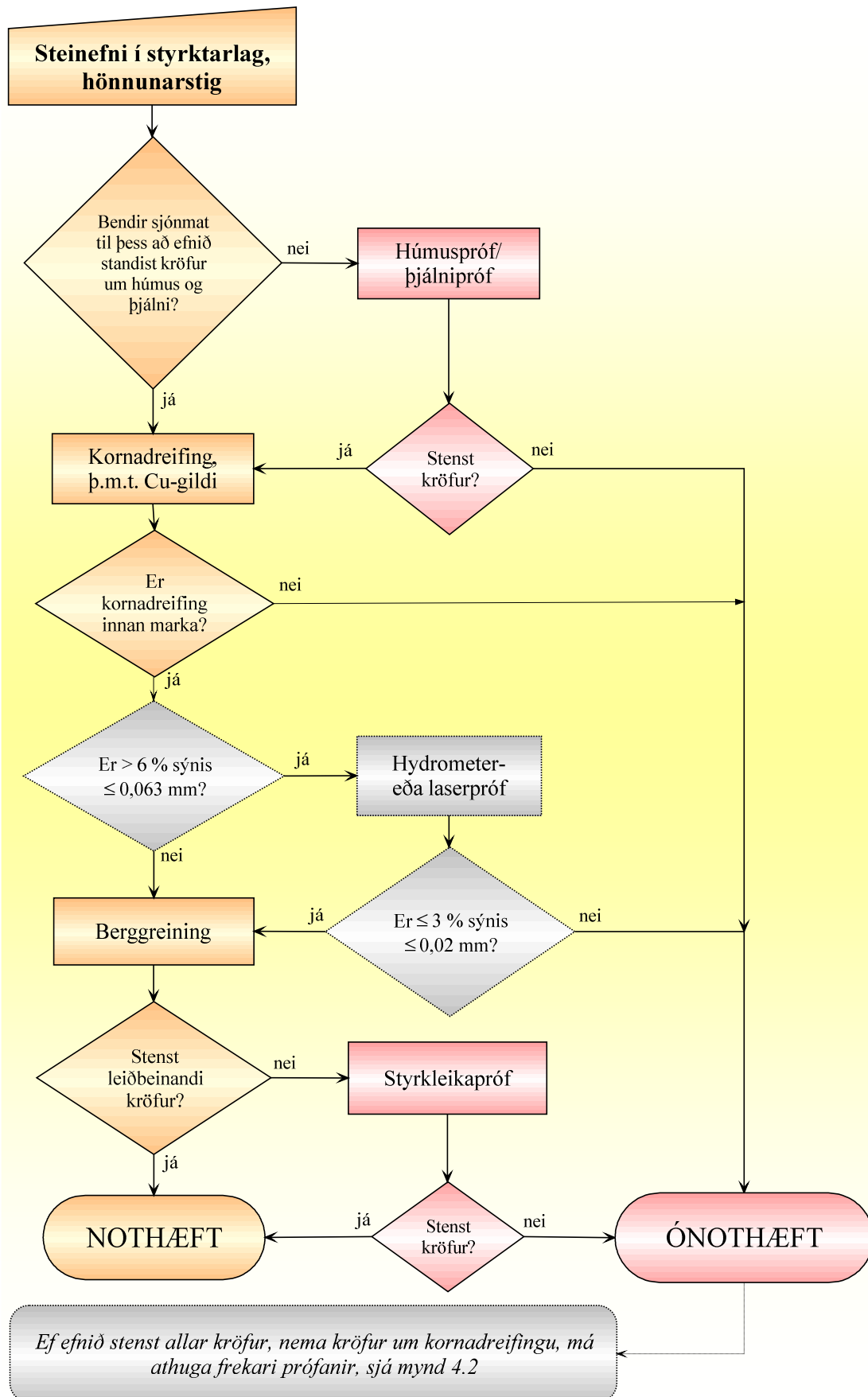
Hér á eftir er gerð grein fyrir verkferlum vegna prófa við hönnun og fjallað um mismunandi steinefnapróf og próf á efnismassa.

4.2.1 Verkferlar

Flæðiritið á mynd 4-1 sýnir feril prófana á efni sem áætlað er að nota í styrktarlag, sérstaklega efni sem ætlað er í efri hluta þess. Flæðiritið sem myndin sýnir er notað til mats á efni sem unnið er úr seti (lausu efni) og möluðu bergi. Það á ekki nema að hluta til við framleiðslu á sprengdu eða rippuðu bergi (grjótpúkki) þar sem rýmri kröfur eru gerðar varðandi kornadreifingu og fínefnainnihald. Kröfur eru settar fram í kafla 4.5.

Eins og flæðiritið sýnir, ætti fyrst að beita sjónmati til að fá vísbendingu um hugsanlegt húmusinnihald eða óæskilega þjálni efnisins á efnistökuastaðnum. Ef augljóst er að mold eða leir er til staðar í miklum mæli er efnið ónothæft. Ef einhver vafi leikur á um húmusinnihald eða óæskilega þjálni er gert húmus- og/eða þjálnipróf og niðurstöður þeirra geta útilokað efnið án frekari prófa. Næsta skref er annars að taka sýni og mæla kornadreifingu efnisins. Á henni sést hvort kornadreifingin er innan tilskilinna marka. Ýmsar kröfur um kornadreifinguna þ.e.a.s. Cu-gildi, magn fínefna, sandhlutfall og steinastærð eru settar fram í kafla 4.5.1. Hámark fínefna (<0,063 mm) í styrktarlagi er 7% (sjá þó ákvæði fyrir grjótpúkk). Ef magn fínefna er yfir 6% af efni í flokkunarstærð 0/63 mm, getur það þó bent til þess að frostnæmt fínefni, minna en 0,02 mm, sé til staðar í of miklum mæli. Til þess að fá úr því skorið er efnið sett í hydrómeterpróf eða laserpróf sem gefur upplýsingar um hvort magn efna minni en 0,02 mm er yfir mörkum, þ.e. hvort meira en 3% af efni minna en 0,02 mm er í stærðarflokki 0/22 mm.

Ef allar kröfur til kornadreifingar eru uppfylltar, er efnið næst berggreint og athugað hvort það standist leiðbeinandi kröfur um gæðaflokkun. Þrátt fyrir að efni standist ekki leiðbeinandi kröfur berggreiningar, getur það verið nothæft í styrktarlag ef niðurbrot þess við þjöppun og umferð er innan marka. Til að ganga úr skugga um það þarf að gera styrkleikapróf.



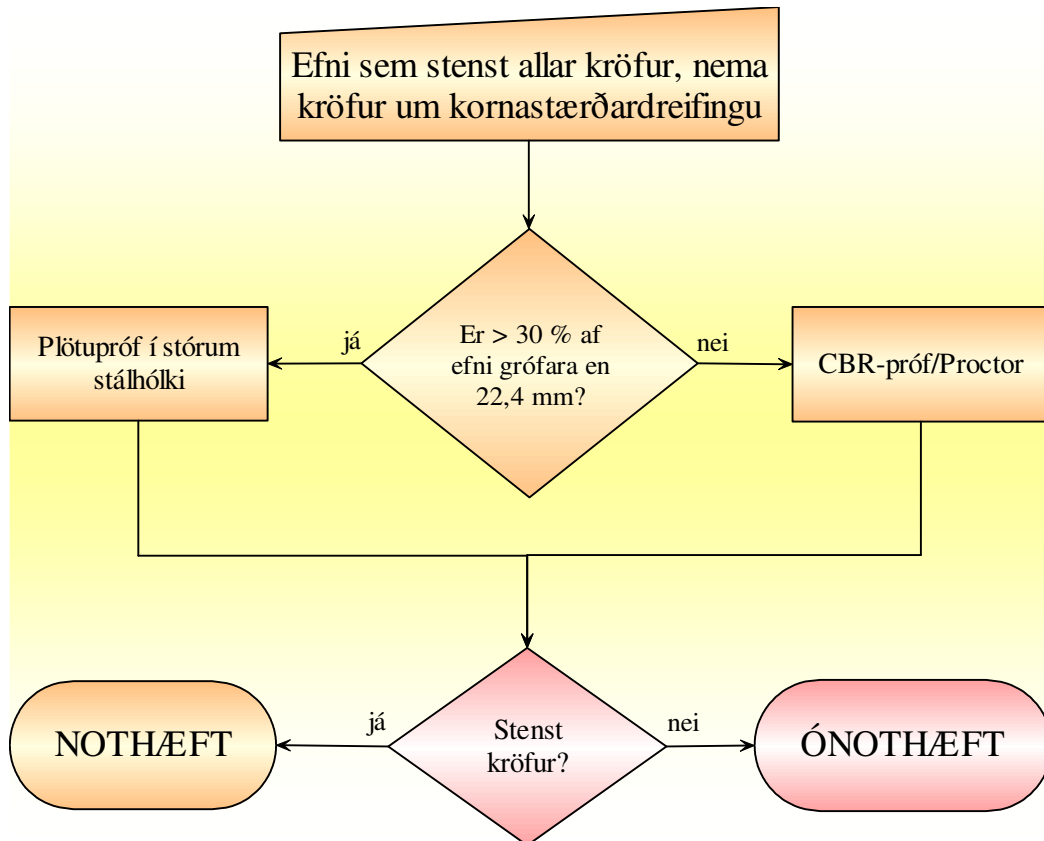
Mynd 4-1: Flæðirit fyrir mat á steinefni til notkunar í styrktarlag

Ef sjónmat bendir til þess að efnið standist kröfur um húmus og þjálmi þarf að lágmarki að mæla kornadreifingu og berggreina efnið, áður en hægt er að ákveða hvort það er nothæft, samkvæmt flæðiritinu á mynd 4-1. Sú leið er oftast farin ef efnið er með lágu fínefnainnihaldi, til dæmis ef nota á áreyrarmöl eða efni úr malarhjalla í styrktarlag.

Dæmi eru um að jarðefni sem ekki standast kröfur um kornadreifingu reynist hafa hátt burðarþol og góða stæðni og reynist því vel sem styrktarlagsefni. Slík efni eru til dæmis grjótrík skriðuefni en burðarþol þeirra getur verið hátt sérstaklega ef grjótið í efninu er kantað. Ef hönnuður metur það svo að efni sem hann vill nota hafi slíka eiginleika getur hann prófað efnið með þeim prófunaraðferðum fyrir burðarþol sem lýst er hér á eftir og sýndar á mynd 4-2. Það á þó einungis við ef efnið uppfyllir allar aðrar kröfur en um kornadreifingu.

Flæðirit á mynd 4-2 sýnir leið sem farin er til að prófa efni sem standast ekki kröfur um kornadreifingu styrktarlagsefna. Rétt er að taka fram að þetta ætti aðeins að gera í undantekningartilvikum og þegar ljóst er að ekki eru önnur nothæf efni innan hæfilegrar fjarlægðar frá vegstæðinu. Prófin eru annað hvort CBR-próf eða plötupróf í stórum stálhólki, eftir því hversu mikið er af efni grófara en 22,4 mm í sýninu. Þegar þessi leið er farin er mikilvægt að gera sér grein fyrir hvort leggja skal meiri áherslu á að efnið hafi nægilegt burðarþol samkvæmt þessum prófunum, eða það sé ónæmt fyrir frostlyftingum. Efni sem stenst þessi burðarþolspróf, getur verið nokkuð fínefnaríkt og þess vegna frostnæmt. Þegar þetta er metið skiptir til dæmis máli hvernig slitlag verður á veginum sem um er að ræða. Klæðingarslitlag þolir meiri hreyfingu en malbiksslitlag og malarslitlag þolir enn meiri formbreytingu. Undir steypu slitlagi ætti ekki að leyfa neinar hreyfingar í efninu.

Í sambandi við burðarþolsprófin og leiðina í flæðiriti á mynd 4-2 má einnig nefna að stundum er staðli fyrir CBR-próf ekki fylgt og prófið gert þó meira en 30% af efni sé grófara en 22,4 mm. Þá er sá hluti efnisins sem smýgur 22,4 mm prófaður og ef það stenst kröfur er niðurstaðan látin gilda fyrir allt efnið og plötuprófi í stórum stálhólki þar með sleppt.



Mynd 4-2: Flæðirit, fyrir efni sem ekki standast kröfur um kornadreifingu, til að meta hvort efni stenst kröfur um burðarþol.

Þegar búið er að velja efni til notkunar samkvæmt ofanskráðu, getur í mörgum tilvikum verið þörf á viðbótarupplýsingum um efnið svo sem um þjöppunareiginleika, stífniustuðla og/eða viðnámshorn efnisins. Hið fyrstnefnda fæst úr proctor-prófi, en einnig ef gert er CBR-próf, sbr. mynd 4-2. Stífniustuðlar og/eða viðnámshorn fást með því að gera kvíkt eða stöðugt þríasapróf.

Rétt er að taka fram að þær rannsóknir á styrktarlagsefnum sem hafa verið til umfjöllunar hér að ofan geta nýst síðar við val á efnum í aðra hluta veghlotsins.

4.2.2 Steinefnapróf

Með steinefnaprófum eru skoðuð gæði einstakra korna eða hóps korna úr efninu og út frá niðurstöðum þeirra er hægt að meta almennt gæði efnisins til notkunar í styrktarlag.

Prófanir á steinefnum má flokka niður eftir því hvaða eiginleikum efnisins er verið að leita að eins og fram kemur í millifyrirsögnum hér á eftir. Kröfur fyrir styrktarlagsefni er að finna í kafla 4.5.1, en lýsingu á prófunaraðferðum er að finna í viðauka 1.

Kornadreifing

Mæling á *kornadreifingu* er yfirleitt fyrsta rannsóknastofuprófið sem gert er á steinefnasýni. Niðurstöður kornadreifingar eru settar fram á eyðublaði, þar sem lesa má þyngdarhluta efnis sem smýgur ákveðið sigti. Dæmigert set (laust efni) í styrktarlag hefur gjarnan nokkuð jafna dreifingu kornastærða, þannig að efnið þakast og þjappast vel og verður stöðugt eftir útlögn og þjöppun. Aðrar efnisgerðir, til dæmis sprengt berg, hraun og bólstraberg hafa hins vegar yfirleitt ekki jafna dreifingu

kornastærða. Við skoðun sets er litið til þess hvort magn fínefnis ($< 0,063$ mm) er innan tilskilinna marka, en of mikið fínefni getur haft afgerandi áhrif á frostnæmi efnisins. Einnig ber að hafa í huga að æskilegt er að fínefni sé til staðar (þó innan marka) til að tryggja að stöðugleiki náist þegar efnið er þjappað. Stærstu steinar (D'_{98}) í setefni skulu ekki vera yfir 150 mm í þvermál og í sprengdu grjóti ekki yfir 250 mm í þvermál. Einnig er þess gætt að samræmi sé á milli efri flokkunarstærðar (D) í hverju lagi og lagþykktar, en hún má ekki vera meiri en hálf lagþykkt og stærstu steinar (D'_{98}) mega mest vera 2/3 lagþykktar. Þegar magn fínefna undir 0,063 mm er yfir viðmiðunarmörkum er hugsanlega hægt að nota efnið ef kornadreifing fínefnanna, mæld sérstaklega með *hydrometerprófi*, eða *laserprófi* sýnir að magn efnis undir 0,02 mm er innan marka, samanber flæðiritið á mynd 4-1.

Berggerð og ásýnd bergs

Berggreining: Tilgangur berggreiningar er fyrst og fremst að ákvarða berggerð og bergbrigði steinefnis, til að leggja mat á gæði þess til viðkomandi mannvirkjagerðar. Berggreiningin er leiðbeinandi og gefur m.a. upplýsingar um þéttleika og ummyndunarstig efnis, en það gefur vísbendingar um hvort hætta er á að efnið brotni niður og hvort of mikið fínefni myndist við þjöppun og vegna umferðarálags á veginum. Yfirleitt eru nokkur hundruð korn af ákveðinni kornastærð tekin til greiningar. Lögum kornanna og aðrir grunneiginleikar eru greindir lauslega. Að því búnu eru kornin flokkuð í mismunandi bergbrigði eftir bergtegund, ummyndun, þéttleika og öðrum einkennum.

Í niðurstöðum kemur fram hlutfall bergbrigða, lauslegt mat á lögum og hreinleika korna, fjöldi talinna korna, jarðfræðilegar upplýsingar um steinefnið og loks athugasemdir eftir því sem við á.

Það krefst nokkurrar þjálfunar og þekkingar að lesa úr berggreiningum um gæði viðkomandi steinefnis til notkunar í vegagerð. Því er venjan héraendis að flokka bergbrigði í þrjá gæðaflokka, en sú flokkun byggir á reynslu af hæfi þeirra héraendis. Gæðaflokkunin, oftast magn 3. flokks efnis, er notuð til að meta efnisgæðin almennt, en einnig getur hún verið ákvarðandi um framhaldsprófanir og kröfur.

Berggæði

Styrkur: Styrkur korna í styrktarlagi er mikilvægur eiginleiki, enda getur álag á slíkt efni verið mikið, sérstaklega við útlögn, völtun og vinnuumferð. Hætta er á að veik steinefni molni niður undan álagi. Ef steinefnið er mjög ummyndað myndast fínefni við niðurbrotið, sem hætt er við að sé vatnsdrægt og frostnæmt og þannig skaðlegt fyrir burðarþol vegarins.

Ef gæðaflokkun úr berggreiningu er yfir ákveðnum mörkum þarf að mæla styrk þess. Tvenns konar próf eru notuð héraendis til þess að mæla styrk steinefna. Annað þeirra er Los Angeles-próf (LA próf), en það er blandað álagspróf sem veldur bæði núningi og höggáraun. Niðurstaða prófsins er gefin upp sem hluti sýnis (%) sem brotnar niður fyrir 1,6 mm möskvastærð. Aðferðin hentar vel til mælinga á styrk sprengds efnis, enda er prófið gert á flokkuðu efni. Hitt prófið sem notað er til að mæla styrk steinefna er Bg-stuðull (modified). Til þess að fá beinan samanburð milli steinefna hefur prófið verið útfært á þann hátt að sýni er sigtað í sundur og sett saman aftur með staðlaða kornadreifingu fyrir prófun. Um er að ræða lokaða kornakúrfu og ákveðið rakastig. Niðurstaða prófsins er gefin upp sem mismunur á milli upphaflegrar

kornakúrfu sýnis og kornakúrfu þess eftir Proctor próf (modified). Aðferðin hentar vel til þess að mæla styrk sets.

Í Los Angeles prófi er sýnið þurr þegar það er prófað. Það er hins vegar vel þekkt að raki í mikið ummynduðu steinefni getur veikt efnið verulega. Þar sem 5-10% raki er algengur í steinefni í vegum er því mikilvægt að meta niðurstöður LA með hliðsjón af berggreiningu. Þar sem steinefnið er prófað við 6% rakastig í Bg prófinu getur verið mikilvægt að prófa mikið ummynduð steinefni einnig með þeirri prófunaraðferð. Það verður hins vegar að hafa það hugfast að Bg prófið er ekki í Evrópustöðlum og því er það á valdi hönnuða að setja fram kröfur þar að lútandi í sérverklýsingum. Góð fylgni er milli niðurstaðna prófa með þessum tveimur aðferðum. Samkvæmt Evrópustaðli um eftirlitsprófanir (Evaluation of Conformity, EoC) er heimilt að nota prófunaraðferð við framleiðslueftirlit (FPC) ef sýnt hefur verið fram á góða fylgni niðurstaðna við niðurstöður þeirrar aðferðar sem er í prófunarstöðlum (Standard Reference Test).

Eiginleikar fínefna

Eins og fram kemur í flæðiritinu á mynd 4-1 er gert ráð fyrir að húmusinnihald og þjálmi verði metin með sjónmati og það látið nægja ef augljóst er að lífræn óhreinindi eða þjál efni eru ekki til staðar. Ef hins vegar leikur grunur á að mold eða skaðleg fínefni séu í styrktarlagsefni skal framkvæma prófanir til að fá úr því skorið hvort slík efni eru innan marka.

Þjálmiþróf: Oft er hægt að meta hvort fínefni eru þjál með því að velta sýni á milli fingra sér og athuga þannig hvort fínefnið er leirkennt, þ.e.a.s. hvort hægt er að hnoða það í kúlur. Ef grunur leikur á að þjál efni séu til staðar í sýninu skal gera þjálmiþróf. Þjálminn, eða “Plasticity Index”, er gefin upp sem munurinn á flæðimarki (hæsta rakagildi sem efni getur haft án þess að verða flotkennt) og þjálmiþrófmarki efnisins (lægsta rakagildi sem efni getur haft án þess að molna í sundur við hnoðun).

Húmusþróf: Í flestum tilvikum er auðvelt að sjá hvort set er blandað lífrænum efnunum. Ef grunur leikur á að lífræn óhreinindi geti verið í sýni skal gera húmusþróf. Prófið felst í því að setja sýni í NaOH lausn, en lífræn óhreinindi lita lausnina, mismikið eftir magni óhreininda. Til viðmiðunar er höfð staðallausn með ákveðinn litstyrk. Niðurstaða prófsins er hvort lausnin sem sýnið er sett í fær lit sem er sterkari eða veikari en staðallausnin og gefur það til kynna hvort um skaðlegt magn lífrænna óhreininda er að ræða.

4.2.3 Próf á efnismassa

Í kaflanum hér á undan er greint frá prófunum sem mæla eiginleika einstakra korna eða hóps korna úr efninu sem til skoðunar er. Það getur einnig verið mikilvægt að vita hvernig efnið hegðar sér í heild, þ.e.a.s. hverjir eru eiginleikar efnismassans. Því eru gerðar prófanir á efnismassanum, sem meta eiginleika hans gagnvart þjöppun (proctorpróf) og próf til að meta burðarhæfileika efnisins (CBR-próf og plötupróf í stórum stálhólki). Burðarþolsprófin eru þó sjaldnast gerð, nema efni hafi ekki staðist kröfur um kornadreifingu en samt þyki ástæða til að kanna hvort leyfa megi notkun þeirra á grundvelli niðurstaðna burðarþolsprófa (sjá flæðirit á mynd 4-2).

Hér á eftir er fjallað um ofangreind próf ásamt upplýsingum um hvers vegna hvert þeirra er gert. Leiðbeinandi kröfur fyrir styrktarlagsefni er að finna í kafla 4.5.2. Nánari lýsingar á prófununum má einnig finna í viðauka 1.

Proctorpróf. Þetta próf er gert til að meta þjöppunareiginleika og tengsl þjöppunar og rakainnihalds. Ákvarðað er það rakastig sem heppilegast er að efnið hafi við þjöppun. Raki hefur lítil áhrif á þjöppun efnis ef það er fínefnasnautt og sandríkt. Niðurstöður prófsins nýtast í tengslum við mat á þjöppun úti í vegi. Proctorpróf er yfirleitt ekki gert á styrktarlagsefni fyrr en ljóst er að það stenst aðrar kröfur og þá er prófið gert til að fá frekari upplýsingar um samband raka og rúmþyngdar við þjöppun.

CBR-próf. CBR-prófið er gert á efni sem smýgur 22,4 mm sigti og er mælikvarði á burðarþolseiginleika þess. Þar sem styrktarlagsefni er yfirleitt mun grófara er prófið því sjaldan framkvæmt á slíku efni. CBR-prófið er m.a. gert á efni sem ekki uppfyllir kröfur um kornadreifingu, til dæmis ef grófleikatala efnisins ($C_u = D_{60}/D_{10}$) er undir viðmiðunarmörkum (sjá kafla 4.5.1). Við mat á niðurstöðum CBR-prófs, má hafa hliðsjón af kröfum í kafla 4.5.2. Einnig er rétt að hafa í huga að reynsla er fyrir því að fínefnaríkt efni getur haft hátt CBR-gildi, en varasamt er að nota það í styrktarlag, vegna þess að það getur verið næmt fyrir áhrifum frosts (hætta á frostþenslu). Þá er einnig reynsla fyrir því að sandríkt efni fái lágt CBR-gildi, en það hafi samt reynst vel í neðri hluta styrktarlags. Samkvæmt stöðlum fyrir CBR-prófið er hægt að gera það á efni með allt að 30% korna sem ekki smjúga 22,4 mm, að því tilskyldu að kornakúrfan sé leiðrétt á ákveðinn hátt.

Plötupróf í stórum stálhólki. Þetta próf er mælikvarði á burðarhæfleika efnisins. Prófið er hægt að gera á efni með allt að 152 mm stærstu steinstærð. Plötupróf í stórum stálhólki er ætlað fyrir efni sem er of gróft fyrir CBR-próf.

4.2.4 Fjöldi prófa við hönnun

Fjöldi prófa við hönnun fer eftir áætluðu efnismagni. Við forrannsóknir þegar valið stendur á milli nokkurra staða, er það í höndum hönnuðar hversu mörg próf hann telur að þurfi að gera á sýnum. Þegar efnistökuastaður hefur verið valinn, ræðst fjöldi prófa sem á að gera áður en framleiðsla hefst, af magni sem gert er ráð fyrir að vinna. Í töflu 4-2 kemur fram lágmarks fjöldi prófana miðað við það efnismagn, sem fyrirhugað er að taka á hverjum stað. Mikilvægt er að gera sér grein fyrir að vönduð sýnataka við rannsóknir á hönnunarstigi er stór þáttur í að vel takist til. Sýnin þurfa að gefa mynd af því svæði sem gert er ráð fyrir að vinna efni úr. Ef breytileiki er mikill getur verið þörf á fleiri prófunum en sýndar eru í töflunni. Breytileiki efnis getur verið talsvert mismunandi eftir jarðmyndunum.

Tafla 4-2: Lágmarksfjöldi prófsýna á styrktarlagsefni miðað við áætlað efnismagn.

Efnismagn, þús. m ³	Þjálmi/húmus (sjónmat)	Kornadreifing	Berggreining	Styrkur (Bg/LA)*
0-10	2-4	2-4	1	(1)
10-30	4-6	4-6	1	(1)
30-60	6-10	6-10	1-2	(1-2)

* Ekki er gert ráð fyrir að gera styrkleikapróf nema gæðaflokkun berggreiningar gefi tilefni til.

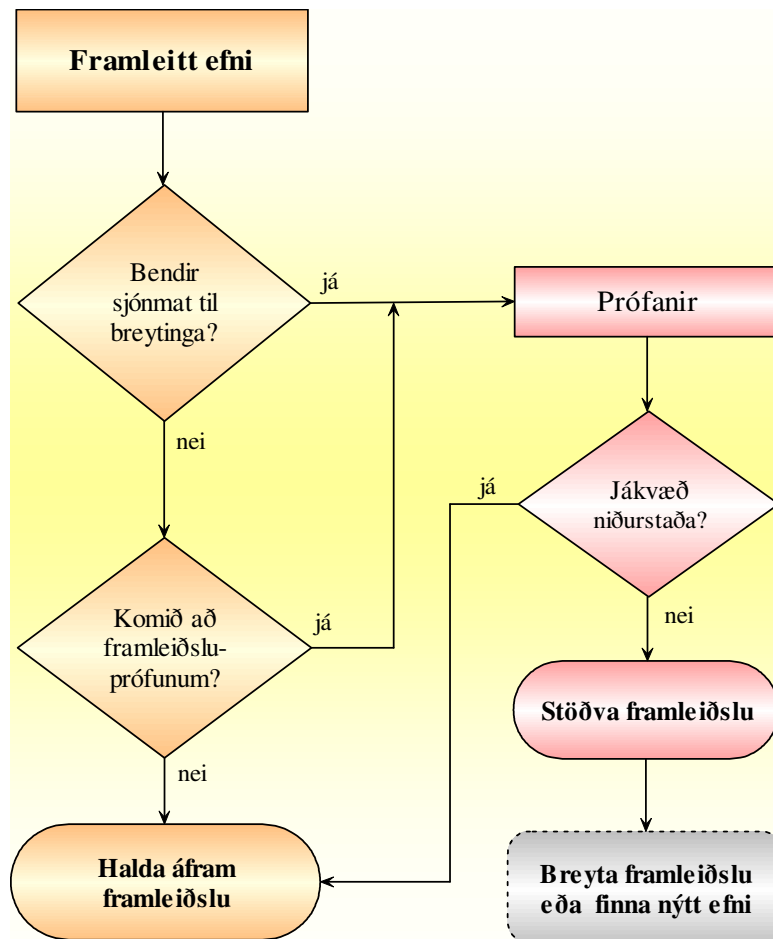
4.3 Próf við framleiðslu

Tilgangur með prófum við framleiðslu, er að fá fullvissu um að efni sem framleitt er hafi þá eiginleika, sem stefnt var að á hönnunarstigi og til að tryggja að gæði efnisins haldist í samræmi við kröfur allt framleiðsluferlið. Með orðinu framleiðsla er hér átt við efnisöflun og/eða aðra vinnslu efnis.

Það er mismunandi eftir efnisgerð og hvernig framleiðslu er háttað, hvaða próf á að gera. Hér á eftir verður fjallað um þau próf sem verktaki á að framkvæma samhliða framleiðslu efnisins en hér er átt við prófanir á efni áður en það er komið út í veg.

4.3.1 Verkferlar

Framleiðsluprófanir skal ávalt gera að lágmarki með þeirri tíðni sem tilgreind er í kafla 4.3.4 Mikilvægt er að nota einnig sjónmat til að fylgjast með vinnslu eða framleiðslu efnis og meta breytingar á efninu allt framleiðsluferlið. Ef grunur leikur á breytingum í átt til lakari efniseiginleika, eru gerð próf til að sannreyna efnisgæðin, sjá flæðirit á mynd 4-3.



Mynd 4-3: Flæðirit fyrir prófun styrktarlagsefna á framleiðslustigi

Ef niðurstöður framleiðsluprófa eru neikvæðar, þarf að stöðva vinnsluna og gera ráðstafanir til að breyta henni. Ef kornadreifing er ekki innan marka, er oft hægt að breyta vinnsluaðferðum með hörpun, þvotti eða íblöndun. Ef of mikið lífrænt efni er

til staðar er mögulega hægt að losna við það með þvotti. Í köflunum hér á eftir er gerð nánari grein fyrir einstökum prófum.

4.3.2 Steinefnapróf

Það próf sem oftast er gert til að fylgjast með framleiðslu efnis í styrktarlag, er *mæling á kornadreifingu*. Prófið er nauðsynlegt til að kanna hvort efnið sem framleitt er, sé innan þeirra marka sem tilskilin eru. Kröfur til kornadreifingar koma fram í kafla 4.5.1. Ef ákveðið var að nota efni sem stóðst burðarþolspróf (samanber mynd 4-2), er ekki miðað við kröfurnar í kafla 4.5.1, heldur kannað hvort kornadreifingin sé að breytast frá þeirri sem mældist á hönnunarstigi. Ef breytingar eru sjáanlegar á efninu er það sett í viðeigandi próf. Ef grunur leikur á að lífræn óhreinindi séu til staðar og/eða þjál fínefni er gert húmuspróf og/eða þjálnipróf á þessu stigi. Ef efnið stenst ekki leiðbeinandi kröfur til berggreiningar getur þurft að framkvæma styrkleikapróf en það ætti þó ekki að koma til ef vandað var til undirbúningsrannsókna. Varðandi tíðni prófana við framleiðslu vísast í töflu 4-3.

4.3.3 Próf á efnismassa

Prófanir á efnismassa efnis í styrktarlag á framleiðslustigi eru sjaldgæfar. Ef sjónmat eða mælingar á kornadreifingu benda til breytinga á efni sem ákveðið var að nota að undangengnu burðarþolsprófi (sjá mynd 4-2), er nauðsynlegt að endurtaka burðarþolsmælingarnar, til að kanna hvort það stenst enn kröfur til þeirra.

4.3.4 Tíðni prófa við framleiðslu

Tíðni prófa við framleiðslu, er háð magni sem framleitt er og umferðarþunga. Einnig geta niðurstöður prófa við hönnun haft áhrif á tíðni prófa við framleiðslu. Ef valið hefur verið að nota efni sem ekki hefur verið rannsakað í samræmi við flæðiritið á mynd 4-1, eða efni í námu er breytilegt, getur þurft að fjölga prófunum, en tafla 4-3 sýnir lágmarkstíðni prófa miðað við magn sem framleitt er. Alltaf skal gera eitt próf við upphaf framleiðslu og síðan með þeirri tíðni sem taflan tilgreinir.

Tafla 4-3: Lágmarkstíðni prófa á styrktarlagsefni á framleiðslustigi.

Próf/umferðarflokkur ÁDU _p	> 400	>100	>10	<10
Kornadreifing	3000	4000	5000	5000
Húmus (sjónmat)				
Þjálmi (sjónmat)				
Berggreining	15000	15000	15000	-
<i>Gera skal eitt próf fyrir það magn sem tilgreint er í töflunni (rúmmetrar). Auka þarf tíðni prófana ef prófanir á hönnunarstigi voru ekki gerðar í samræmi við leiðbeiningar.</i>				

Gera skal hvert af prófunum minnst einu sinni í verki, einu sinni í námu eða tvisvar sinnum á því ári sem vinnsla fer fram.

Ekki er hægt að nefna tíðni eða ákveðinn fjölda prófa á efnismassa á framleiðslustigi styrktarlags. Þau eru yfirleitt ekki gerð, nema í sérstökum tilvikum og þá þarf að ákveða fjölda þeirra í hvert sinn.

4.4 Próf og mælingar við framkvæmd

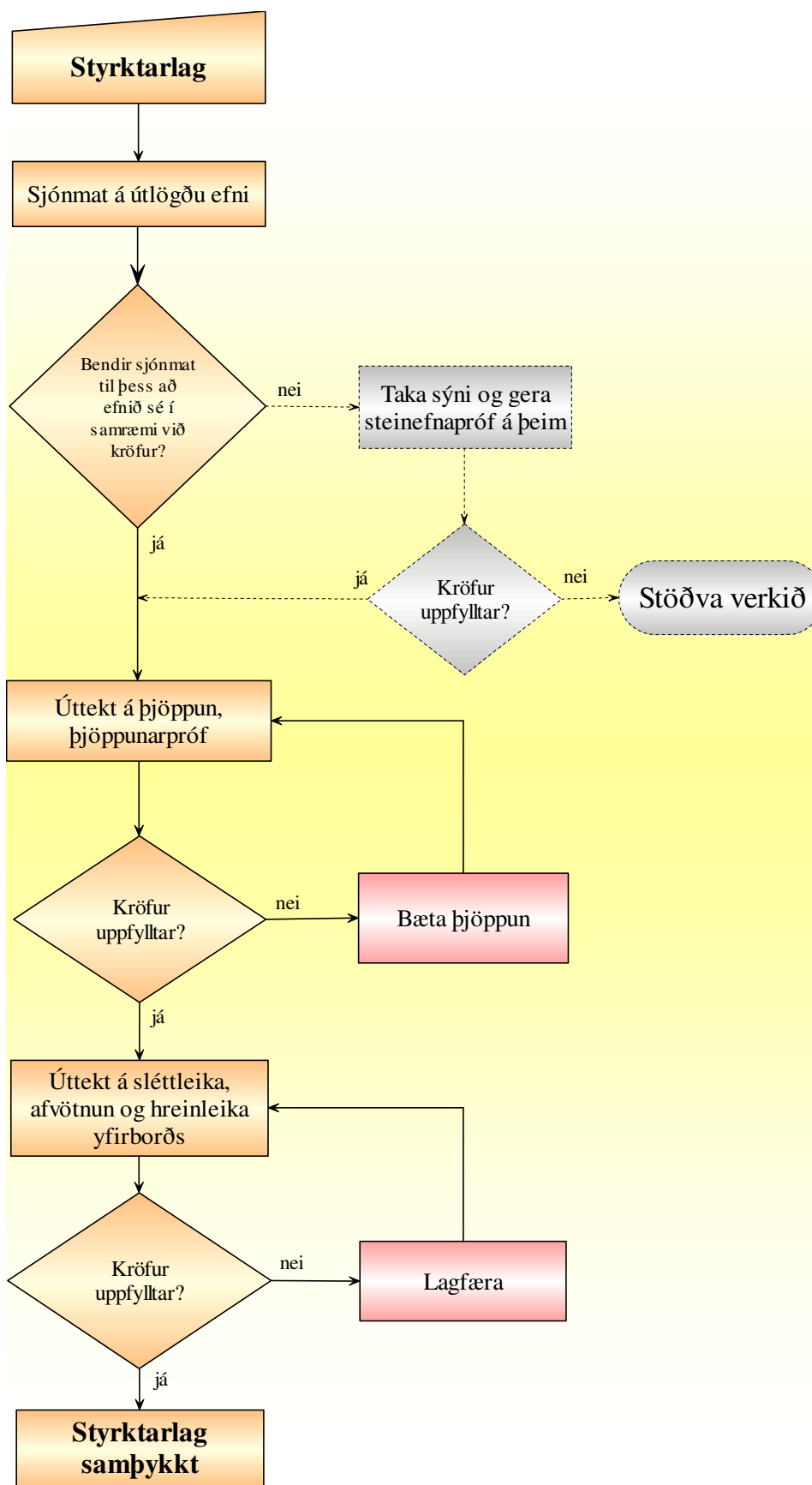
4.4.1 Verkferlar

Flæðiritið á mynd 4-4 sýnir feril athugana og mælinga við framkvæmd þegar unnið er að gerð styrktarlags. Með verkferlinum er verið að sannreyna að verkið sé unnið í samræmi við gerðar kröfur, en jafnframt að tryggja að ekki hafi orðið breyting á efni frá framleiðslu til notkunar.

Eins og fram kemur í flæðiritinu er ávallt rétt að beita sjónmati og ef einhver grunur leikur á að efnið sé gallað á einhvern hátt, eða standist ekki kröfur sem gerðar eru, þarf að taka sýni af efninu og prófa þau. Í versta falli getur þetta leitt til þess að stöðva þurfi verkið. Ef farið er eftir þeim leiðum sem fjallað er um hér að framan um próf á hönnunarstigi og framleiðslustigi, ætti ekki að þurfa að koma til slíkra aðgerða. Til að leggja áherslu á það, er sá hluti flæðiritisins á mynd 4-4 hafður grár með strikálínum.

Þegar búið er að leggja efni út og þjappa, þarf að kanna hvort þjöppun er nægileg. Einnig þarf að kanna hvort kröfur um sléttleika yfirborðsins, afvötnun og hreinleika þess, eru uppfylltar.

Hér á eftir er gerð grein fyrir helstu prófum og mælingum sem gerðar eru samhliða gerð styrktarlags.



Mynd 4-4: Flæðirit fyrir prófanir og mælingar við gerð styrktarlags.

4.4.2 Steinefnapróf

Ef undirbúningi verksins hefur verið háttað í samræmi við þær áherslur sem nefndar eru í köflunum hér að framan hvað varðar prófanir við hönnun og framleiðslu styrktarlagsefnis ætti ekki að þurfa að gera þessi próf við framkvæmd nema ef eitthvað sérstakt hefur komið upp. Þá er um að ræða sömu próf og nefnd eru í köflum 4.2.2 og 4.3.2, háð því hver ástæða er fyrir því að ákvörðun er tekin um að framkvæma prófanir og um kröfur til steinefna er fjallað í kafla 4.5.1.

4.4.3 Próf og mælingar

Hér verður rætt um þau próf, mælingar og athuganir sem gerðar eru eftir að efni hefur verið lagt út og þjappað. Um er að ræða þjöppunarpróf, mælingu á sléttleika og þykktum, en jafnframt sjónmat á yfirborði styrktarlagsins. Um kröfur til niðurstaðna prófa og mælinga vísast í kafla 4.5.3.

Þjöppunarmæling: Meta má árangur þjöppunar á nokkra mismunandi vegu eins og greint er frá hér á eftir.

Þegar styrktarlag er þjappað skal ávallt *telja fjölda umferða valtans* og miða við lágmarksgildi í samræmi við efni og þykkt laga, eins og fram kemur í töflu 4-4. Upplýsingarnar í töflunni má einnig nota, þegar valtar og völtunaraðferðir eru valdar með tilliti til efnis og lagþykkta. Æskilegt er að valtar séu búnir tölvubúnaði sem tengdur er við GPS staðsetningarbúnað þegar umferðir valta eru taldar. Slíkur búnaður eykur verulega líkur á því að allt yfirborð vegarins hafi verið þjappað með fullnægjandi hætti. Rétt er að hafa í huga að ekki er heppilegt að nota mjög þunga valta á þunn lög, eða ef hætta er á að efni brotni mikið niður. Ef vegbotn er úr mjúkum efnum (t.d. mýri) getur verið erfitt að ná tilskilinni þjöppun og ber verktaka að velja valtara sem henta slíkum aðstæðum. Stjórnandi valta skal skila skýrslu, þar sem fram kemur:

- dagsetning
- gerð og stærð valta
- þyngd og breidd tromlu
- hvaða vegarkafli var valtaður
- hvaða lag í vegi
- lagþykkt
- hraði valta og fjölda yfirferða.

Hraði valta skal vera milli 3 og 6 km/klst. Auk þess skal svo gera eitthvert þeirra prófa sem nefnt er í töflu 4-5 hér á eftir til að sannreyna þjöppunina.

Tafla 4-4: Þjöppun styrktarlags, val á valta, lagþykkt og fjölda yfirferða

				<i>Sandur, möl, bólstraberg púkk</i>	<i>Hraun og sprengt grjót</i>
Gerð valta	Heildar þyngd t	Statísk þyngd kg/cm	Lag þykkt mm	Lágmarks fjöldi yfirferða	Lágmarks fjöldi yfirferða
<i>Dreginn titurvalti</i>	3-5	15-25	≤ 400	7	
			≤ 400	5	6
	5-8	25-35	500	6	7
			600		7
			≤ 400	4	4
	> 8	> 35	500	5	5
600				5	
≤ 400			8		
<i>Akandi titurvalti</i>	6-8	15-25	≤ 400	7	
			500	8	
	9-10	25-35	≤ 400	5	4
			500	6	6
			600		7
	> 13	> 45	≤ 400	3	3
			500	4	4
			600		4

Árangur þjöppunar má einnig meta með **þjöppunarmæli í valta**. Því er æskilegt að valti sé útbúinn með þjöppunarmæli og mæliaflestur sé skráður reglulega. Sumir slíkir valtar eru búnir tölvu, sem sér um skráninguna og jafnvel er hægt að fá skýrslu um þjöppunina strax á staðnum. Til að hægt sé að vinna með þjöppunarmæli í völtum skal gera tilraunaþjöppun á efninu sem notað er og bera niðurstöður þjöppunarmælis saman við niðurstöður annarra “hefðbundnari“ mælinga á þjöppun. Þjöppunarmælar sýna hversu mikil aukning verður á þjöppun fyrir eina viðbótarumferð.

Ef ekki er þjöppunarmælir í völtum, ætti að meta árangur þjöppunarinnar með **plötuprófi** eða **hæðarmælingum** í undantekningartilvikum. **Rúmþyngdarmælingar (geislamælingar (Troxler) eða sandkeilupróf)**, koma einnig til greina, en eru þó aðeins nothæfar þegar efni er með hámarks steinastærð milli 20 og 30 mm, þannig að sjaldnast er hægt að nota þær á styrktarlagi. Þó má geta þess að geislamælingar hafa stundum verið notaðar á efni með allt að 50 mm stærstu kornastærð með viðunandi árangri.

Þegar valið er hver af ofangreindum aðferðum er notuð, má hafa upplýsingar í töflu 4-5 til hliðsjónar.

Tafla 4-5: Aðferðir til mælinga á þjöppun

Aðferð	Notkunarsvið og athugasemdir
Telja fjölda umferða	Notað við allar aðstæður.
Þjöppunarmælir í valta	Hægt að nota við allar aðstæður.
Plötupróf	Hægt að gera á öllum vegum, en sjaldnast nema á umferðarmestu vegum.
Hæðarmæling	Hægt að nota við allar aðstæður, er þó einungis notuð í undantekningartilvikum.
Rúmþyngdarmæling (geislamælingar)	Takmarkast við hámarks-kornastærð 25-30 mm, en hefur stundum verið notað á efni með allt að 50 mm stærstu kornastærð með viðunandi árangri.
Rúmþyngdarmæling (sandkeilupróf)	Takmarkast við hámarks-kornastærð 25-30 mm. Prófið er tímafrekt og niðurstöður liggja ekki fyrir fyrir en á þriðja degi eftir að það er gert.

Hannað yfirborð, þverhalli og þykkt: Gerðar eru kröfur um mesta frávík frá hönnuðu yfirborði og mesta frávík frá hannaðri þykkt. Þriggja punkta þversniðsmælingar eru gerðar til að hafa eftirlit með þessum þáttum.

Sjónmat á yfirborði styrktarlags: Við lok frágangs styrktarlags, þarf að skoða yfirborð þess. Yfirborðið á að vera lokað til að koma í veg fyrir að efni úr burðarlaginu gangi niður í það, sjá síukröfur í inngangi þessa rits. Einnig þarf að vera tryggt að ekki safnist á því vatnspollar og að ekki séu á því rastir. Yfirborðið skal vera laust við óhreinindi.

4.4.4 Tíðni prófa við framkvæmd

Við þjöppun er fjöldi yfirferða valtans ávallt talinn og skráður. En einnig þarf að gera aðrar mælingar (plötupróf eða hæðarmælingar) til að staðfesta árangur þjöppunarinnar. Tíðni þeirra mælinga kemur fram í töflu 4-6.

Æskilegt er að valti sé búinn þjöppunarmæli, sjá kafla 4.4.3. Með því móti fæst mælikvarði á þjöppun alls yfirborðsins sem unnið er með. Slíka mæla þarf þó að kvarða með einhverju af ofangreindum prófum, en fækka má mælingunum sem gerðar eru til staðfestingar á árangri. Ef valti telur umferðir sjálfkrafa má minnka tíðni staðfestingarmælinga niður í 75% af því sem fram kemur í töflu 4-6 og ef valtinn mælir burðarþolsgildi þá dugar að gera tvær staðfestingarmælingar fyrir hverja efnisgerð og gerð undirstöðu í hverju verki.

Tafla 4-6: Tíðni mælinga á þjöppun.

Aðferð	Fjöldi þungra ökutækja, ADU_b		
	≥ 400	≥ 100	< 100
Plötupróf			
(Rúmþyngdarmæling)	Á 100 m bili	Á 300 m bili	Á 500 m bili
Hæðarmæling (bil milli svæða)			

Úttekt á sléttleika og þykktum skal gera áður en burðarlag er lagt. Til þess eru gerðar hæðarmælingar og eru þær gerðar með 20 m millibili, fyrir alla umferðarflokka, í þremur punktum í þversniði, þ.e. á útbrúnum og miðju.

4.5 Kröfur

Þær kröfur sem koma fram í köflunum hér á eftir eiga einkum við um efni í efri hluta styrktarlags. Ef þær gilda líka um neðri hlutann er þess getið sérstaklega. Við framsetningu á kröfunum hér á eftir er almennt miðað við kröfuflokka sem settir eru fram í evrópsku stöðlunum ÍST EN 13242 “*Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction*”, sem fjallar um kröfur til einstakra korna og ÍST EN 13285 “*Unbound mixtures – Specification*”, sem fjallar um kröfur til efnismassa. Rétt er að taka fram að fleiri kröfur eru í þessum stöðlum en teknar eru hér og að auki er skerpt á sumum þeirra í samræmi við reynslu hérlendis.

Kröfur til efnisgæða miðast við áætlaðan fjölda þungra bíla ($\dot{A}DU_D$) á opunarári vegarins þannig að krafist er betri efnisgæða eftir því sem vegurinn hefur meira hlutverki að gegna í þjóðvegakerfi landsins. Þannig eru gerðar mestar kröfur til efnisgæða styrktarlags þar sem þungaumferð er mikil, enda er hún ráðandi hvað varðar álag á styrktarlag. Þungir bílar teljast vera bílar með heildarþyngd $>3,5$ t. Miðað er við þungaumferð á tveggja akreina vegi. Mikilvægt er að umferðarmestu vegir landsins hafi mjög gott burðarþol og að vegyfirborð þeirra haldi góðum sléttleika allan líftíma vegarins. Malarslitlög þola meiri formbreytingar en t.d. malbiksslitlög á vegum í hærri umferðarflokkum og steipt slitlög þola mjög litlar formbreytingar. Sú grundvallarkrafa er gerð til styrktarlagsefnis að það sé frostfrítt þannig að í efninu verði ekki frostlyftingar. Þetta á jafnt við um malarvegi þó að malarslitlög þoli miklar hreyfingar. Vegakerfið er í stöðugri uppbyggingu og malarvegur í dag getur síðar verið lagður klæðingu og er þá mikilvægt að styrktarlag malarvega standist þær kröfur sem gerðar eru til efnis í vegum með bundnu slitlagi.

Þær kröfur sem hér eru settar fram gilda fyrir efni í námu en gera má ráð fyrir og rétt að hafa í huga, að breytingar verða á eiginleikum efnisins við frágang í vegi.

Almennt gildir að eitt sýni af hverjum fimm (20%) má víkja frá gildandi kröfu en þó má ekkert frávik vera meira en 10% af tölugildi kröfuflokksins í átt til lakari efnisgæða. Þannig mætti mest eitt sýni af fimm mælast með LA gildi 22 ef kröfuflokkurinn er LA_{20} .

Verktaki skal í upphafi verks leggja fram nákvæma áætlun um gæðaeftirlit og skal eftirlitskerfi verktaka tryggja að gæði steinefna og verkgaði séu skráð með fullnægjandi hætti. Ef efni er fengið úr námu framleiðanda sem selur steinefni á markaði er heimilt að telja skjalfest framleiðslueftirlit með í heildarumfangi eftirlits með gæðum steinefna í viðkomandi verk.

4.5.1 Kröfur til steinefna

Kornadreifing

Kröfur til kornadreifingar eru samkvæmt ÍST EN 13285 og ÍST EN 13242. Algengt er að miða við stærðarflokka styrktarlagsefnis í töflu 4-1 í kafla 4.1. hér að framan. Stærstu steinar (D'_{98}) í styrktarlagi skulu ekki vera stærri en 250 mm. Miða skal kröfur um fínefnainnihald við flokk UF₇, þ.e. að fínefni minna en 0,063 mm skal ekki vera meira en 7%. Miðað er við efni í námu í flokki 0/63 mm, en gera má ráð fyrir að magn fínefna verði 1 til 2 % hærra í frágengnu efni í vegi. Ef fínefnainnihald ($\leq 0,063$ mm) sýnishluta undir 63 mm er meira en 6 % skal þó einnig mæla kornadreifingu fínefnis og skal hlutfall efnis $\leq 0,02$ mm vera ≤ 3 %. Til viðbótar við

staðlana eru gerðar kröfu um að grófleikatala Cu fyrir set og mulning uppfylli kröfur í töflu 4-7.

Tafla 4-7: Kröfur til grófleikatölu fyrir set og mulning

Cu (=D ₆₀ /D ₁₀)*	Fjöldi þungra ökutækja, ΔDU_p	
	≥ 10	<10
Efri hluti styrktarlags	≥ 15	≥ 10
Neðri hluti styrktarlags	≥ 5	
*Cu=D ₆₀ /D ₁₀ , þar sem D ₆₀ er sú sigtastærð sem 60% af efninu smýgur og D ₁₀ er sú sigtastærð sem 10 % af efninu smýgur		

Auk ofangreindra krafna um kornadreifingu gildir um efri hluta styrktarlags að hlutfall efnis minna en 4 mm má ekki vera meira en 45%. Í efri hluta styrktarlags skal efri flokkunarstærð efnis (D) ekki vera meiri en 150 mm eða ekki meiri en hálf lagþykkt, en síðarnefnda krafan gildir einnig í neðri hlutanum. Fyrir óunnið efni skal miða við að D₉₈ sé ekki meira en 2/3 hlutar lagþykktar.

Fyrir sprengt berg eða gróft efni (til dæmis hraun og bólstraberg) með kornadreifingu sem myndar burðargrind og fínefnið rúmast vel á milli steinanna er gerð krafa um UF₁₂. Magn fínefna minna en 0,063 mm í slíku efni, miðað við efni í flokki 0/63 mm, má sem sagt ekki vera meira en 12%. Sprengt berg sem notað er í efri hluta styrktarlags skal vera malað og/eða flokkað.

Í staðli ÍST EN 13242 eru settar fram kröfur um leyfilegar undir- og yfirstærðir flokkaðs efnis og óflokkaðs efnis, sjá töflu 4-8. Í töflunni stendur d fyrir neðri flokkunarstærð og D fyrir efri flokkunarstærð, t.d. 22/63 (d/D). Nokkrir valkostir eru fyrir undir- og yfirstærðir í flokkuðu efni til dæmis kröfuflokkur G_C 85/15 þar sem G_C X/Y táknar að minnst X% efnisins eiga að smjúga grófara sigtið (efri flokkunarstærð) og mest Y% mega smjúga það finna (neðri flokkunarstærð). Auk þess eru samsvarandi ákvæði fyrir d/2, 1,4D og 2D.

Fyrir óflokkað efni þ.e.a.s. 0/X efni þar sem d = 0 (t.d. 0/63) má velja milli flokka G_A úr töflu 4-8 um yfirstærðir þar sem G_A X táknar að minnst X% eiga að smjúga sigti efri flokkunarstærðar, auk samsvarandi ákvæða um 1,4D og 2D, en þar sem neðri flokkunarstærð er 0 eru engir kröfuflokkar um undirstærðir.

Tafla 4-8. Kröfuflokkar með leyfilegum yfir- og undirstærðum samkvæmt staðli ÍST EN 13242

Gerð steinefnis	Stærð, mm	Sáldur, % af þyngd					Kröfuflokkur G
		2 D ^a	1,4 D	D ^b	d ^c	d/2	
Flokkað efni* d ≥ 1 og D > 4		100	100	90-99	0-10	0-2	G _C 90/10
		100	98-100	90-99	0-15	0-5	G _C 90/15
		100	98-100	85-99 ^b	0-15	0-5	G _C 85/15
		100	98-100	85-99	0-20	0-5	G _C 85/20
		100	98-100	80-99	0-20	0-5	G _C 80/20
		100	98-100	85-99	0-15	0-2	G _{CA} 85/15
Óflokkað efni*	d = 0 og D > 4	100	98-100	90-99	-	-	G _A 90
		100	98-100	85-99	-	-	G _A 85
		100	98-100	80-99	-	-	G _A 80

Skýringar við töfluna:

^a Steinefni með D>63 mm (t.d. 90 mm) er undanþegið ákvæðinu um sáldur á sigti með möskvastærð 2D, þar sem sigtaröð ISO 565/R20 takmarkast að ofan við 125 mm sigti. Ákvæðið varðandi 1,4D gildir hins vegar.

^b Ef hlutfallið D/d er minna en 2 (flokkað efni) og kröfuflokkurinn er G_C 85/15, G_C 85/20 eða G_{CA} 85/15 má minnka hlutfallið sem smjúgur sigti með möskvastærðina D um 5 %, að teknu tilliti til fyrirhugaðrar notkunar steinefnisins.

^c Mörkunum fyrir þann hluta steinefnanna sem smjúga sigti með möskvastærð d má breyta og tilgreina í staðinn tölu á bilinu 1-15 fyrir G_C 85/15 og á bilinu 1-20 fyrir G_C 80/20, ef það er nauðsynlegt til að tryggja heppilega stærðadreifingu steinefnisins.

*Það sem nefnt er flokkað efni hér kallast „Coarse“ í staðlinum, samanber C í kröfuflokki G_C. All-in í staðlinum samanber A í G_A er nefnt óflokkað efni hér.

Sem dæmi um notkun töflu 4-8 má taka flokkað efni 22/125 þ.e. d = 22 og D = 125. Ef valinn er kröfuflokkur G_C 85/15 þá mega 0 – 15% af efninu smjúga 22 mm sigti (d) og 85 – 99% af efninu skal smjúga 125 mm sigti (D). Þannig verður að lágmarki 1% af efninu að sitja á 125 mm sigtinu sem er mikilvægt til að tryggja að efnið nái þeirri efri flokkunarstærð (þ.e. D = 125). Samkvæmt kröfuflokki G_C 85/15 mega 0 – 5% af efninu smjúga 11 mm sigti (d/2 = 11) og 98 – 100% verða að smjúga 175 mm sigti (1,4 × D = 175). Að lokum verður allt efnið að smjúga 250 mm sigti (2 × D = 250).

Sem dæmi um óflokkað efni má taka flokkunarstærðir 0/90 þ.e. d = 0 og D = 90. Ef valinn er kröfuflokkur G_A 80 þá skal 80 – 99% af efninu smjúga 90 mm sigti (D) og eins og í dæminu hér fyrir ofan verður að lágmarki 1% af efninu að sitja á 90 mm sigtinu. Á bilinu 98 – 100 verða að smjúga 125 mm sigti (1,4 × D = 125). Að lokum verður allt efnið að smjúga 180 mm sigti (2 × D = 180).

Auk ákvæðanna um yfirstærðir og undirstærðir eru í staðli ÍST EN 13242 ákvæði, fyrir flokkað efni (D/d >2), um millistærðir D/1,4 og D/2 (sjá töflu 4-9). Sem dæmi má taka að fyrir flokkað efni 22/125 (D/d ≥4) þá má á bilinu 20-70% af efninu smjúga 63 mm sigti (D/2).

Tafla 4-9 Ákvæði um sáldurdreifingu millistærða

Hlutfall D/d	Stærð millisigtis mm	Sáldur %
<4	D/1,4	25-80
		20-70
≥4	D/2	20-70

Húmus

Efni sem nota á í styrktarlag (efri og neðri hluta) skal vera laust við lífræn óhreinindi. Yfirleitt er sjónmat látið nægja til að meta hvort lífrænt efni sé innan marka, en í vafatilfellum skal prófa samkvæmt staðli ÍST EN 1744-1 og er miðað við að efnið standist kröfur samkvæmt staðallausn í NaOH prófi samkvæmt staðli ÍST EN 13242.

Þjálmi

Efni sem nota á í styrktarlag (efri og neðri hluta) má ekki flokkast sem þjálmi efni. Sjónmat er almennt látið nægja til að meta þjálmi en í vafatilfellum skal efnið prófað með tilliti til þjálmi. Ef fínefni (þ.e. efni minna en 0,063 mm) er minna en 3% er ekki ástæða til að prófa þjálmi.

Heimilt er að gera kröfu um þjálmiþróf samkvæmt grein 4.5 í staðli ÍST EN 13285.

Stærðargreining fínefna

Ef magn fínefna ($\leq 0,063$) í styrktarlagsefni (efri og neðri hluta) er yfir 6% af efni 0/63 mm, skal stærðargreina fínefni samkvæmt hydrometer- eða laserprófi. Greiningin er gerð til að ákvarða þyngdarhluta sýnis undir 0,02 mm. Ef hann er hærri en 3 % miðað við stærðarflokk 0/22 mm, skal hafna efninu.

Heimilt er að gera kröfu um slíkt próf til að meta frostnæmi efna samkvæmt grein 4.5 í staðli ÍST EN 13285.

Berggreining

Leiðbeinandi kröfur um leyfilegt magn steinefna í 3. gæðaflokki koma fram í töflu 4-10. Kröfurnar miðast við sýni af steinefni í stærðarflokknum 5,6-11,2 mm.

Tafla 4-10: Leiðbeinandi kröfur um leyfilegt magn steinefna í gæðaflokkum við berggreiningu

Fjöldi þungra ökutækja, ADU_b	Hluti sýnis (%) í 3. gæðaflokki samkvæmt berggreiningu	
	Mjög ummyndað efni*	Ferskt, fínblöðrótt efni*
≥ 400	≤ 10	≤ 25
≥ 100	≤ 15	≤ 30
≥ 10	≤ 20	≤ 35
< 10	≤ 25	≤ 40

* Miðað er við að meirihluti þess efnis sem lendir í 3. gæðaflokki sé af viðkomandi berggerð.

Athygli er vakin á tvenns konar kröfum um leyfilegt magn 3. flokks efnis samkvæmt berggreiningu. Munurinn liggur í því að bergbrigði með ólíka eiginleika lenda í sama gæðaflokki. Þar sem mjög ummyndað bergbrigði eru talin mun óæskilegri fyrir styrktarlag en fersk, eru gerðar minni kröfur til ferskra efna en ummyndaðra, jafnvel þótt þau séu fínblöðrótt og brotni þar af leiðandi niður undan álagi. Ástæðan er sú að við niðurbrot mikið ummyndaðs bergs geta skaðlegar leirsteindir leyst úr læðingi, en við niðurbrot ferskra efna er afurð niðurbrotsins skaðlaus í styrktarlagi.

Ef setberg er í efninu þarf að meta sérstaklega hvort hætta er á því að við niðurbrot þess hækki fínefni efnisins yfir leyfileg mörk.

Í framleiðslustaðli, ÍST EN 13242 eru ekki eiginlegar kröfur til niðurstöðu berggreiningar. Berggreiningin á aðeins að segja almennt til um berggerð sýnisins og fylgja með sem upplýsingar um efnið. Íslenska aðferðin hefur verið aðlöguð ÍST EN 932-3, en er mun ýtarlegri í skiptingu basalts eftir ummyndun og þéttleika. Íslenska gæðaflokkunin er hins vegar alveg óháð Evrópustöðlum og hefur enga tilvísun í þá, enda er ávallt talað um leiðbeinandi kröfur til gæðaflokkunar í þessu riti.

Styrkleikapróf

Gera skal styrkleikapróf ef 3. flokks efni samkvæmt berggreiningu stenst ekki leiðbeinandi kröfur fyrir viðkomandi umferðarflokk. Kröfur til styrkleika steinefna í styrktarlag koma fram í töflu 4-11. Miðað er við að sýni úr 10-14 mm steinefni sé prófað samkvæmt staðli ÍST EN 1097-2.

Tafla 4-11: Kröfur til styrkleika (Los Angeles próf)

Fjöldi þungra ökutækja, ÁDU_b	LA flokkun skv. ÍST EN 13242	
	Ef 3. flokks efni er mjög ummyndað*	Ef 3. flokks efni er ferskt og fínblöðrótt*
≥ 400	LA ₂₀	LA ₃₅
≥ 100	LA ₂₅	LA ₄₀
≥ 10	LA ₃₀	LA ₄₀
< 10	LA ₃₅	LA ₅₀

*Í töflunni þýðir LA_x að LA-stuðullinn skuli að hámarki vera X %.

Við mat á styrkleika steinefna hérlendis hefur svonefndur Bg-stuðull einnig verið mældur, en þar er notuð samsett, lokuð kornakúrfa efnisins. Sú aðferð er þó ekki til sem Evrópustaðall, en miða má við kröfur í töflu 4-12 ef valið er að nota hana til viðbótar eða í staðinn fyrir LA prófið. Í kafla 4.2.2 er umfjöllun um það hvenær ráðlegt er að velja Bg-stuðul.

Tafla 4-12: Kröfur til styrkleika (Bg-stuðull)

Fjöldi þungra ökutækja, ÁDU_b	Bg-stuðull –modified	
	Ef 3. flokks efni er mjög ummyndað	Ef 3. flokks efni er ferskt og fínblöðrótt
≥ 400	≤ 8	≤ 14
≥ 100	≤ 10	≤ 16
≥ 10	≤ 12	≤ 16
< 10	≤ 14	≤ 20

4.5.2 Kröfur til efnismassa

Proctorpróf

Rúmþyngdarmælingar úr proctorprófi má nota sem mælikvarða á þjöppun, með því að bera þær saman við rúmþyngdir mældar með geislaðmælingum (Troxlér) eða sandkeilu aðferð. Sandkeilupróf og geislaðmælingar eru hins vegar ekki gerðar á grófkorna efni, þannig að notkunin takmarkast við að efnið í styrktarlaginu sé með hámarks kornastærð milli 20 og 30 mm og fyrir vikið koma þessi próf ekki oft til greina. Þó ber að geta þess að geislaðmælingar hafa stundum verið gerðar á efni með

allt að 50 mm kornastærð. Ef miðað er við proctorpróf telst efnið nægilega þjappað þegar útlögð þurr rúmþyngd þess er hærri en rúmþyngd sem tilsvayar 95% af hæstu rúmþyngd við Modified Proctor þjöppun.

Í þeim tilvikum sem proctorprófið bendir til að þjöppun efnisins sé háð rakainnihaldi þess, eru niðurstöður þess notaðar til að ákveða við hvaða rakastig skal þjappa styrktarlagið. Er þá miðað við lægra gildið af tveimur; hagstæðasta rakastiginu (W_{obt}), sem er það rakastig sem gefur hæsta þurra rúmþyngd við proctorþjöppun, eða rakastig sem er þremur prósentum lægra en metunarrakinn samkvæmt proctorprófinu ($W_{mettað} - 3\%$). Æskilegt er að þessar niðurstöður liggi fyrir á hönnunarstigi.

Í framleiðslustaðli, ÍST EN 13285, kemur fram að ákveða skal þurra rúmþyngd og heppilegasta rakastig (optimal water content) efnisins við þjöppun, en þessa þætti má mæla með proctorprófi.

CBR-próf

Ef ákveðið hefur verið, samanber flæðirit á mynd 4-2, að meta hvort efni er hæft í styrktarlag með því að gera CBR-próf, er krafan sú að efni má nota í efri hluta styrktarlags, ef CBR gildið mælist hærra en 40% við þurra rúmþyngd sem svarar til 95% af hæstu þurru rúmþyngd við Modified-Proctor þjöppun. Sama gildir fyrir efni sem nota á í neðri hlutann (sjá einnig kafla 4.5.1), ef CBR gildið mælist hærra en 20%, sjá töflu 4-13.

Tafla 4-13: Kröfur til CBR-gilda, ef efni uppfyllir ekki kröfur um kornadreifingu

Styrktarlag	CBR
Efri hluti	> 40
Neðri hluti	> 20

Þó efnið sé of gróft fyrir CBR-próf (meira en 30% grófara en 22,4 mm) má heimila notkun þess ef fínni hluti þess (sá sem prófaður er í CBR-prófinu) uppfyllir ofanskráðar kröfur. Hins vegar er rétt að taka fram að samkvæmt staðli er ekki gert ráð fyrir að gera CBR próf á svo grófu efni.

Í framleiðslustaðli, ÍST EN 13285 eru engar kröfur um niðurstöður CBR-prófa.

Plötupróf í stórum stálhólki

Ef ákveðið hefur verið, samanber flæðirit á mynd 4-2, að meta hvort efni er hæft í styrktarlag, með því að gera plötupróf í stórum stálhólki, er krafan sú að E_2 sé hærra en 120 MPa fyrir efni í efri hluta styrktarlags, en 65 MPa fyrir efni í neðri hluta þess, sjá töflu 4-14.

Tafla 4-14: Kröfur til E_2 mældu í stórum stálhólki, ef efni uppfyllir ekki kröfur um kornadreifingu.

Styrktarlag	E_2
Efri hluti	> 120
Neðri hluti	> 65

Þetta próf er ekki til sem Evrópustaðall þannig að í Evrópustöðlum er því ekki að finna kröfur til niðurstöðu þess.

4.5.3 Kröfur við framkvæmd

Ef D'_{98}^2 í styrktarlagsefni er 90 mm eða minna er æskilegt að leggja styrktarlag út með púkkdreifara og að útlögn lokinni á styrktarlagið að hafa slétt yfirborð.

Sprengt berg sem notað er í efri hluta styrktarlags skal vera malað eða flokkað. Þegar styrktarlag er lagt úr sprengdu bergi getur reynst erfitt að uppfylla kröfur um hæðarlegu og sléttleika og þá getur þurft að rétta styrktarlagið af. Efnið sem notað er til afréttingar þarf að lágmarki að uppfylla efniskröfur til efri hluta styrktarlags (aðrar en kornastærð) og til burðarlags ef umferðin er meiri en 100 ÁDU_p. Auk þess þurfa síukröfur að vera uppfylltar, sjá umfjöllun um síukröfur í inngangi þessa rits.

Styrktarlag skal þjappað við rakastig sem tryggir góða þjöppun samkvæmt Modified Proctor prófi í samræmi við kröfur sem eru tilgreindar í kafla 4.5.2. Proctor próf er þó ekki framkvæmt á grófum efnum og sprengdu möluðu grjóti og gefur ekki góðar vísbendingar fyrir hrein sandrík efni og sand. Slík efni skal þjappa í röku ástandi við rakastig sem telst hæfilegt samkvæmt sjónmati.

Þess skal gætt að yfirborð hafi verið hreinsað vel, losað við öll óhreinindi, jafnað, þjappað og frágengið áður en útlögn burðarlags hefst. Eftir að gengið hefur verið frá yfirborði má engin vinnuumferð vera á því. Forðast skal aðskilnað kornastærða (separation) efnisins og bæta úr á fullnægjandi hátt þar sem aðskilnaður verður.

Útlögn burðarlags má ekki hefjast fyrr en gerð styrktarlags hefur verið tekin formlega út og samþykkt.

Þjöppunarmælingar

Í upphafi verks skal verktaki leggja fram áætlun um allan tækjabúnað sem hann áætla að nota við þjöppun vegarins og um þær aðferðir sem hann hyggst beita við að mæla árangur þjöppunarinnar.

Æskilegt er að valtar séu búnir tölvubúnaði sem tengdur er við GPS staðsetningarbúnað þegar umferðir valta eru taldar. Slíkur búnaður tryggir að allt yfirborð vegarins hafi verið þjappað með fullnægjandi hætti. Einnig er æskilegt að valtar séu útbúnir með þjöppumæli. Hraði valta skal vera á bilinu 3 til 6 km/klst. Stjórnandi valta skal halda dagbækur um völtun, þar sem fram kemur dagsetning, gerð og stærð valta, þyngd og breidd tromlu, hvaða vegstæði var valtað, hvaða lag í vegi, lagþykkt, hraði valta og fjöldi yfirferða. Tafla 4-3 í kafla 4.4.3 sýnir lágmarksfjölda umferða mismunandi valta miðað við lagþykkt.

Viðmiðunargildi **þjöppumælis á valta** skal ákveða út frá niðurstöðum plötuprófsmælinga við upphaf verks og skal miða við E_2 og gildin fyrir hlutfall E gilda í töflu 4-14. Framkvæma skal plötupróf á veikustu punktum hvers kafla vegarins sem hefur einsleita efnisgerð og undirstöðu. Halda skal skrá yfir lokaþjöppun þar sem er skráð stöð og hvaða lag er valtað. Gera má ráð fyrir að 5 - 10% viðbótarþjöppun mælist milli síðustu yfirferða valta á yfirborði styrktarlags. Mælingar sýna þjöppunarstig og hve mikið þjöppun eykst í % fyrir eina viðbótarumferð. Völtun telst fullnægjandi þegar viðbótarþjöppun við eina viðbótarumferð er undir þeim gildum sem mælast við tilraunaþjöppunina. Ef ekki er hægt að gera tilraunaþjöppun, er hægt að miða við reglur um val á valta, lagþykktir og meta fjölda yfirferða út frá

² D'_{98} tengist ekki D sem er efri flokkunarstærð í framleiðslustaðli ÍST EN 13242. D'_{98} táknar möskvastærð (mm) í sigti sem minnst 98 % steinefnisins smjúga og er hentugt mat á stærð stærstu steina í efninu.

niðurstöðum mælisins. Þá er miðað við að hægt sé að hætta völtun ef munur milli umferða er innan við 10%.

Við athugun á niðurstöðum **plötuprófa**, sem gerð eru á yfirborði styrktarlags, eru annars vegar gerðar kröfur um lágmark fyrir gildi E_2 og hins vegar kröfur til þess að hlutfallið milli gildanna E_2/E_1 sé ekki of hátt. Fyrri krafan er gerð til að tryggja að nægilegt burðarþol hafi náðst við þjöppunina, en hin síðari á að tryggja að þjöppun sé nægileg. Fyrir getur komið, til dæmis ef vegur er byggður á mýri, að hlutfallið sé lágt og þjöppun þar með góð, en E_2 sé hins vegar líka lágt og burðarþolið því ekki nægilegt. Tekið skal fram að ekki er rétt að líta á þessi E-gildi sem reiknuð eru út frá niðurstöðum plötuprófa út frá fræðilegu sjónarhorni, sem upplýsingar um eðlisfræðilega eiginleika efnisins í styrktarlaginu. Réttara er að skoða þau sem nokkurs konar “mótstöðustuðla”, sem gefa hugmynd um burðarþol út frá reynslu. Plötupróf hentar vel fyrir mælingu á efni með efri flokkunarstærð ≤ 150 mm og fyrir lagþykkt < 300 mm. Almenna krafan er að niðurstöður plötuprófa skulu að lágmarki ná gildunum $E_2 \geq 110$ Mpa, en fyrir hraun er krafan ögn rýmri, eða að $E_2 \geq 100$ MPa. Krafa um hlutfall milli E-gilda kemur fram í töflu 4-15.

Tafla 4-15: Kröfur til E_2 gildis og hlutfall E-gilda úr plötuprófi með 300 mm plötu

Fjöldi þungra ökutækja, ÁDU _p	E_2 MPa	E_2/E_1
≥ 400	≥ 110 (100)	$\leq 2,5$
≥ 100	≥ 110 (100)	$\leq 3,0$
< 100	≥ 110 (100)	$\leq 3,5$

Í Vegbygging 018 (2011), bls. 250, töflu 520.7 er krafan fyrir alla vegi $E_2/E_1 \leq 2,5$ og $E_2 > 150$

Þjöppun mæld með **sandkeiluprófi** eða **geislamælingu** skal sýna að þurr rúmþyngd eftir þjöppun sé a.m.k. 95% af hæstu þurru rúmþyngd við Modified Proctor þjöppun. Rétt er að minna á að hægt er að nota þessar aðferðir ef aðstæður bjóða upp á það, þ.e.a.s. ef hámarks steinastærð er milli 20 og 30 mm. Þó ber að geta þess að geislamælingar hafa stundum verið gerðar á efni með allt að 50 mm kornastærð.

Í undantekningartilvikum eru **hæðarmælingar** notaðar og þá telst þjöppun nægileg, ef meðal sig yfirborðs frá næst síðustu til síðustu umferðar valta er minni en 10% af heildarsigi sem þjöppunin hefur í för með sér. Hæðarmælingar eru aðeins gerðar í undantekningartilvikum.

Hannað yfirborð og þykktir

Kröfur til mesta frávíks frá hönnuðu yfirborði og mesta frávíks frá hannaðri þykkt, koma fram í töflu 4-16.

Tafla 4-16: Kröfur um nákvæmni í hæð, þverhalla og þykktum mælt á 500 m kafla fyrir tveggja akreina veg og 1000 m á einnar akreina vegi.

	Fjöldi þungra ökutækja, ÁDU _p			
	≥ 100		< 100	
	<i>einstök mæling</i>	<i>Meðaltal</i>	<i>einstök mæling</i>	<i>Meðaltal</i>
Hámarksfrávik frá hönnuðu yfirborði (mm)	+25/-35	+7/-15	+50/-50	+20/-25
Hámarksfrávik frá hannaðri lagþykkt (%)	+20/-15	/-5	+30/-20	/-10