



Efnisgæðaritið – Kafli 5: Burðarlag

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar
Janúar 2023

Lykilsíða

Höfundar skýrslunnar bera alla ábyrgð.

Númer skýrslu/heiti	Fjöldi síðna	Dagsetning	Útgáfa
LEI-3406-5/Efnisgæðaritið	53	1.1.23	19
Heiti leiðbeiningarits			
Efnisgæðaritið – Efnisrannsóknir og efniskröfur – Kafli 5: Burðarlag			
Höfundur/ar	Verkefnastjóri	Tengiliður Vegagerðarinnar	
Pétur Pétursson Gunnar Bjarnason	Birkir Hrafn Jóakimsson	Pétur Pétursson	
Styrktaraðili		Samvinnuaðilar	
Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar Stoðdeild Vegagerðarinnar			

Lykilorð	
Efnisgæði, efnisrannsóknir, efniskröfur.	
Undirskrift verkefnastjóra	Yfirlit af
	BHJ

Efnisgæðaritið

Efnisrannsóknir og efniskröfur

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Kaflí 1	Formáli
Kaflí 2	Inngangur
Kaflí 3	Fylling
Kaflí 4	Styrktarlag
Kaflí 5	Burðarlag (2023)
Kaflí 6	Slitlag
Kaflí 7	Steinsteypa
Kaflí 8	Sandur

Viðauki 1	Lýsing á prófunaraðferðum
Viðauki 2	Efnisgerðir við vega- og gatnagerð
Viðauki 3	Jarðmyndanir – byggingarefni við vegagerð
Viðauki 4	Gerðarprófanir, framleiðslueftirlit og frávíkskröfur
Viðauki 5	Sýnataka
Viðauki 6	Vinnsluaðferðir
Viðauki 7	Orðalisti – skilgreiningar og skýringar
Viðauki 8	Ýtarefni um malbik
Viðauki 9	Samanburður á eiginleikum steinefna og kröfum
Viðauki 10	Berggreining og gæðaflokkun

Efnisyfirlit

Lykilsíða	2
Efnisyfirlit.....	4
5 Burðarlag	5
5.1 Hlutverk, eiginleikar og efnisgerðir.....	5
5.2 Próf við hönnun.....	8
5.2.1 Verkferlar.....	8
5.2.2 Steinefnapróf.....	13
5.2.3 Próf á efnismassa.....	17
5.2.4 Fjöldi prófa við hönnun.....	18
5.3 Próf við framleiðslu	20
5.3.1 Verkferlar.....	20
5.3.2 Steinefnapróf.....	21
5.3.3 Próf á efnismassa.....	21
5.3.4 Tíðni prófa við framleiðslu.....	22
5.4 Próf og mælingar við framkvæmd	23
5.4.1 Verkferlar.....	23
5.4.2 Steinefnapróf.....	24
5.4.3 Próf og mælingar	25
5.4.4 Tíðni prófa við framkvæmd	27
5.5 Kröfur	29
5.5.1 Kröfur til steinefna	30
5.5.2 Kröfur til efnismassa.....	48
5.5.3 Kröfur við framkvæmd	50

5 Burðarlag

5.1 Hlutverk, eiginleikar og efnisgerðir

Burðarlagið er næsta lag undir slitlaginu og tekur upp álagið af umferðinni og dreifir því niður á styrktarlagið, og þau saman niður á fyllinguna. Hlutverk burðarlagsins er að koma í veg fyrir formbreytingar í slitlaginu og því þarf það að vera stíft og stöðugt. Jafnframt þarf burðarlagið að vera nægilega lekt til að ekki safnist í það vatn og það verður einnig að vera ónæmt fyrir frostáhrifum. Það gildir þó ekki um burðarlag malarvega, en mikilvægt er að það sé þétt með hæfilegu fínefnamagni (en þó ekki frostnæmt) til að raki haldist í slitlaginu.

Burðarlag undir klæðingu skal unnið í tveimur hlutum, efri og neðri hluta, þar sem efni í neðri hlutanum er grófara en efnið í efri hlutanum¹. Almenn gildir um efri flokkunarstærð hvors hluta fyrir sig að hún sé ekki meiri en helmingur lagsins. Einnig er æskilegt að efri flokkunarstærðin sé ekki minni en fjórðungur lagþykktar til að tryggja stæðni og þjöppun lagsins. Þetta má setja fram á eftirfarandi hátt og hafa til viðmiðunar: $h/4 \leq D \leq h/2$, þar sem „h“ er lagþykktin sem þjappa á og „D“ er efri flokkunarstærð efnisins. Æskilegt er að hámarkskornastærð neðri hluta burðarlags sé sem næst efri mörkum, miðað við lagþykkt en val á kornastærð efri hluta burðarlags er háð gerð slitlags. Efri hluti burðarlagsins er stundum bundinn, annað hvort með sementi eða biki til að auka styrk og endingu þess. Stundum er burðarlagsmalbik notað í stað efri hluta burðarlags. Fjallað er um burðarlagsmalbik í kafla 6.

Efni sem notað er í burðarlag vega er yfirleitt unnið með mölun og sigtun (hörpun). Skipta má efni niður í þrjár gerðir (sjá viðauka um efnisgerðir og jarðmyndanir). Þær eru set (laust efni), berg og endurunnið efni. Hver efnisgerð getur svo verið mismunandi eftir vinnsluaðferð, s.s. hvernig efnið er malað og hvort það er unnið frekar á einhvern hátt.

Gerð og uppbygging burðarlags er verulega háð því slitlagi sem ætlað er að nota á veginn. Burðarlag undir klæðingu þarf að vera þéttara og sléttara og þess vegna gert úr smærra efni en burðarlag undir malbik eða steinsteypu. Auk þess þarf burðarlag undir klæðingu að vera gert úr mjög sterku steinefni þar sem klæðingin eykur burðarþol vegarins lítið og álag frá umferð er að mestu borið af burðarlaginu. Burðarlag undir malarslitlagi þarf að vera rakaheldið en samt ekki fínefnarikara en svo að það haldist frostþolið.

Yfirleitt er gerð krafa um að efni úr seti sé malað í burðarlag, þannig að hlutfall steina sem eru að meiri hluta brotnir sé hærra en 50%. Í kröfum (sjá kafla 5.5) kemur einnig

¹ Hér valið að fjalla um efri hluta- og neðri hluta burðarlags, en ekki efra- og neðra burðarlag, þar sem það sem kallað var neðra burðarlag í Alverki '95 nefnist nú styrktarlag.

fram hversu mikill hluti efnisins má vera núinn. Í seinni tíð hefur orðið aukning á því að mala berg í burðarlög vega. Ástæða þess er að hæf setlög hafa sums staðar gengið til þurrðar, en einnig er auðveldara að tryggja berggæði í góðri bergnámu, en í setnámu þar sem setið er blanda af mörgum berggerðum. Kostir bergs í burðarlög umfram set, er að það er alveg brotið og yfirborðseiginleikar því hagstæðari varðandi stöðugleika þjappaðs efnis.

Malað efni er flokkað í stærðarflokka samkvæmt markalínum völdum úr staðli ÍST EN 13285. Markalínurnar tiltaka neðri og efri flokkunarstærðir í mm (d/D), tölugildi efnis sem smýgur einstök sigti og einnig ákvæði um yfir- og undirstærðir. Fyrir 80 mm þykkan efri hluta burðarlags undir klæðingu koma stærðarflokkarnir 0/22 (sem sagt d/D) og 0/32 til greina. Til að auðvelda fjnjöfnun á yfirborði burðarlagsins með veghefli getur verið æskilegt að efri flokkunarstærð sé 22 mm, m.ö.o. að D'_{98} fari ekki yfir 32 mm. Slíkt efni er einnig gjarnan með vel lokað yfirborð sem er æskilegt fyrir lagningu klæðingar. Fyrir 125 mm þykkan neðri hluta burðarlags koma stærðarflokkarnir 0/32, 0/45 og 0/63 til greina. Undir malbik og steinsteypu er gjarnan lagt burðarlag í stærðarflokkum 0/32, 0/45 og 0/63. Í staðlinum eru ekki skilgreindar markalínur fyrir grófara efni en 0/90, en samkvæmt honum er verkkaupa þó heimilt að skilgreina markalínur fyrir grófara efni. Í burðarlag undir malarslitlag er hæfilegt að nota stærðarflokkinn 0/32 eða 0/45. Þegar burðarlag er gert úr grófu efni getur verið nauðsynlegt að loka yfirborðinu og jafna það með smærra efni.

Fyrir malað eða flokkað efni, t.d. 22/63 mm, skal miða við að efri flokkunarstærð (D) sé ekki meiri en helmingur af lagþykktinni og æskilegt er að hún sé ekki minni en fjórðungur lagþykktar. Ef notað er flokkað eða harpað púkk (t.d. 0/90 mm) í neðri hluta burðarlags getur komið til greina að miða við D'_{98}^2 sem má mest vera $2/3$ af lagþykktinni.

Hægt er að vinna ofangreindar efnisgerðir frekar til notkunar í burðarlag, til dæmis er hægt að binda þær á mismunandi hátt, s.s. með biki eða sementi.

Endurunnið efni er ekki mikið notað hérlandis í burðarlög, en þó má segja að þegar gamall vegur er fræstur upp og styrktur með biki eða sementi, er verið að endurvinna efnið sem í honum er.

Á undanförunum árum hafa verið gerðar tilraunir með að blanda malbikskurli sem unnið er úr malbiksfræsi í mismiklu magni í burðarlag. Vonir standa til að slík íblöndun geti aukið stífni burðarlagsins.

Efnisgerðir og vinnsla efnis sem á við í hvert sinn ræðst að nokkru af umferðarpunga á þeim vegi sem verið er að byggja. Kröfur um gæði efnis og vinnslu aukast eftir því sem pungaumferðin er meiri, sjá nánar kafla 5.5.

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.

Í handbók um vinnslu steinefna til vegagerðar er fjallað ýtarlega um vinnslu steinefna. Í skýrslunni „Notkun bergs til vegagerðar – vinnsla, efniskröfur og útlögn“ og handbókinni um sprengt berg í vegagerð er ýtarleg umfjöllun um notkun sprengds bergs sem ekki er endurtekin hér nema að litlu leyti. Þessi rit eru öll aðgengileg á vefslóðinni: <http://www.vegagerdin.is/upplýsingar-og-utgafa/leidbeiningar-og-stadlar/efnisrannsoknir/>.

Upplýsingar um síukröfur eru settar fram í inngangskafla Efnisgæðaritsins.

5.2 Próf við hönnun

Próf við hönnun, annars vegar steinefnapróf og hins vegar próf á efnismassanum (efnisheildinni), eru gerð til að fá upplýsingar um eiginleika efnisins með tilliti til notkunar í burðarlag. Mikilvægt er að framkvæma ýtarlegar prófanir þegar fyrirhuguð er efnistaka á nýjum efnistökustað. 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 ávallt er mikilvægt að taka fullt tillit til umhverfissjónarmiða við val á efnistökustað og áætlun um tilhögun efnistöku.

Steinefnapróf eru gerð til að fá upplýsingar um almenna eiginleika efnisins. Eiginleikunum má skipta í tvennt, annars vegar bergbrigði 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 burðarlag.

Próf á efnismassa eru gerð til að fá upplýsingar um hvernig efnið hegðar sér sem heild við þjöppun og eftir að það hefur verið þjappað.

Benda má á að með því að breyta vinnsluaðferðum má hafa áhrif á ýmsa eiginleika steinefna, sjá viðauka 6 og áðurnefnda skýrslu um notkun bergs til vegagerðar. Hér á eftir er gerð grein fyrir verkferlum vegna prófa við hönnun og fjallað um mismunandi steinefnapróf og próf á efnismassa.

5.2.1 Verkferlar

Við mat á steinefnasýni efnis sem nota á í burðarlag, er farið eftir flæðiritinu sem sýnt er á mynd 5-1. Kröfur eru settar fram í kafla 5.5. Fyrsta skrefið er að sjónmeta efnið og kanna hvort það standist kröfur um húmus og þjálmi. Ef augljóst er að svo sé þ.e. að mold eða fínefni er ekki til staðar í miklum mæli, er ekki þörf frekari prófana. Ef vafi er á þessu er hægt að gera húmus eða þjálmiþróf og niðurstöðurnar geta útilokað notkun efnisins. Næsta skref er að mæla kornadreifingu sýnisins, en hún gefur til kynna hvort dreifingin er innan tilskilinna marka. Ef magn fínefna minni en 0,063 mm er á bilinu 5-6% (6-7% fyrir burðarlag malarvega) af efni í stærðarflokknum 0/63 mm, getur það bent til þess að frostnæmt fínefni, minna en 0,02 mm í kornastærð, er til staðar í of miklum mæli. Til þess að fá úr því skorið er hægt að setja efnið í hydrometerpróf eða laserpróf sem gefur upplýsingar um hvort skaðlegar kornastærðir í fínefni eru yfir mörkum, þ.e.a.s. hvort meira en 3% er af efni minna en 0,02 mm í stærðarflokknum 0/22 mm. Sé of mikið af fínefnum til staðar í efninu sem verið er að skoða, er möguleiki á að nota það, með því að blanda það með biki eða sementi, eins og vikið er að hér á eftir.

Ef efnið stenst kröfur um kornadreifingu er það berggreint. Berggreiningin gefur vísbendingar um það hvort hætta er á að óæskileg bergbrigði séu til staðar í sýninu í of miklu magni. Ef svo er, á að athuga hvort sýnið er frostþolið, en niðurstöður frostþolsprófs gefa upplýsingar um hvort hætta er á að efnið brotni mikið niður vegna veðrunar þegar fram líða stundir. Ef steinefnasýnið sem um ræðir kemur vel út úr ofangreindum prófum, eru líkur á að það henti sem burðarlagsefni. Þó eru nokkur

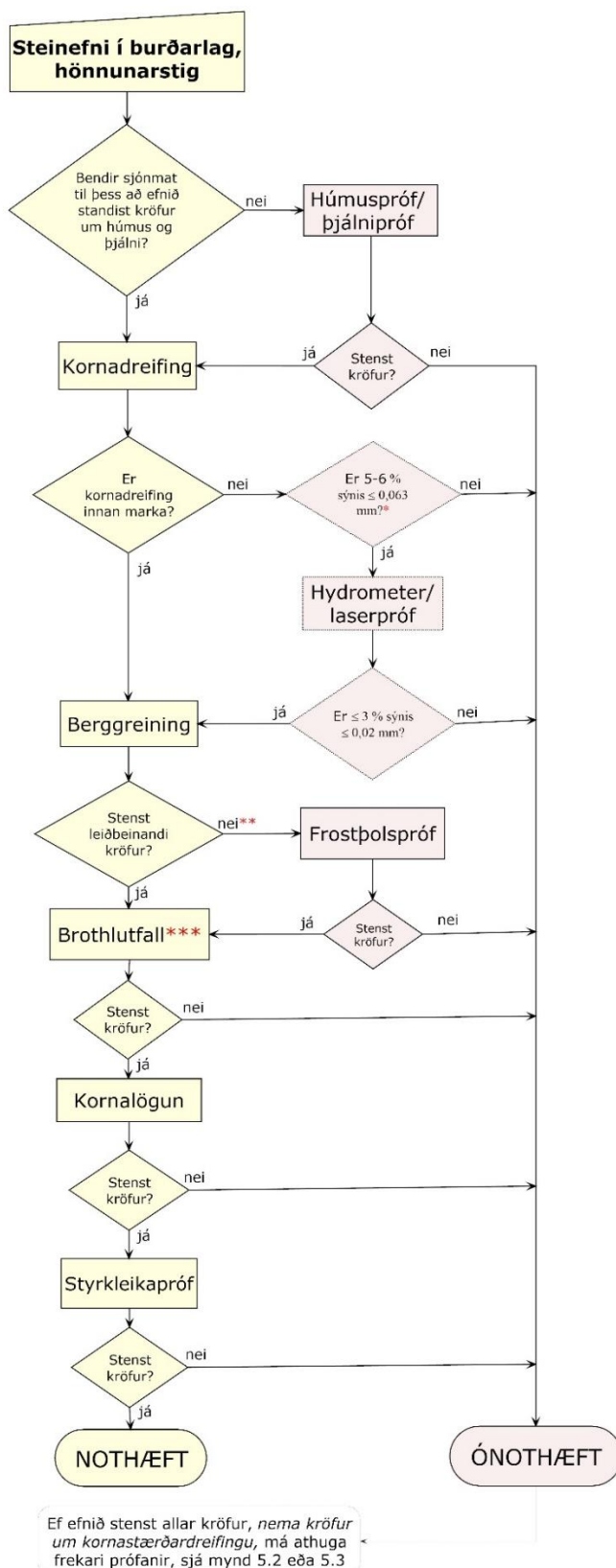
atriði sem þarf að athuga nánar til þess að fá betri mynd af efniseiginleikum. Samkvæmt flæðiritinu á mynd 5-1 skal næst athuga brothlutfall sýnisins, ef um malað set er að ræða. Brothlutfallsprófið segir til um hvort efnið er nægilega brotið til þess að burðargeta þess sé í lagi, en skrið getur orðið í óbrotnu efni. Oft er hægt að auka brothlutfall efnis með bættum vinnsluaðferðum.

Ef ljóst er að kornadreifing, bergsamsetning og brothlutfall eru ásættanleg, er kornalögun sýnisins könnuð með kornalögunarmælingu, til að kanna hvort það er kleyfið eða flögótt, en lögunin getur haft áhrif á stæðni lagsins og þjöppunareiginleika. Ef allir þessir eiginleikar eru innan tilskilinna marka, er styrkleiki efnisins kannaður. Það er gert með einföldu, aflrænu styrkleikaprófi (Los Angeles próf eða modified BG próf) sem gefur upplýsingar um hvort hætta er á að efnið brotni óæskilega mikið niður á vinnslutíma eða undir umferðarálagi.

Hafi efnið staðist öll ofangreind próf og athuganir telst það hæft til notkunar í burðarlag vega.

Burðarlagsefni verða sem sagt að standast þær almennu kröfur til steinefna sem flæðiritið sýnir og gerð er nánari grein fyrir í kafla 5.1. Ef kornadreifing er hins vegar utan við markalínur og önnur vinnsluaðferð eða annað efni eru ekki fyrir hendi, er hugsanlegt að hægt sé að nota efnið ef:

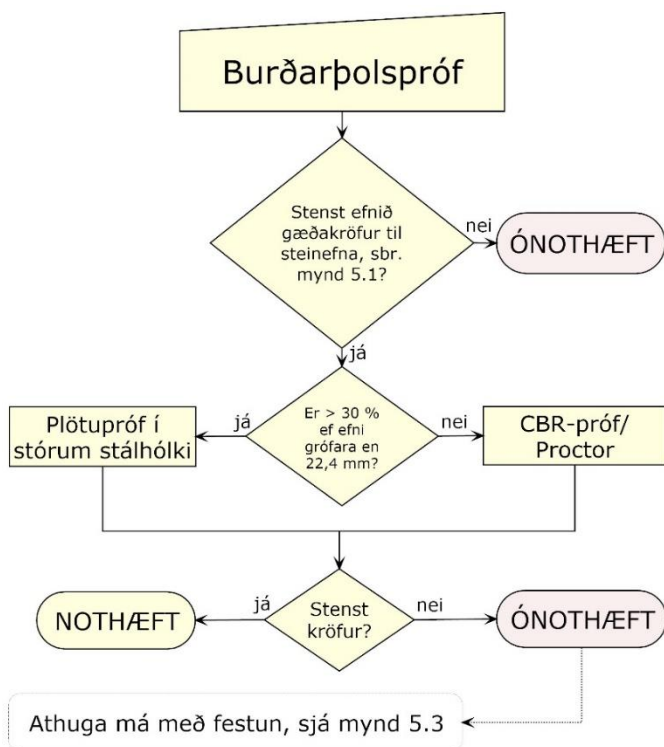
- Burðarlagið stenst kröfur um burðarþol (sjá mynd 5-2)
- Burðarlagið er bikbundið eða sementsbundið (sjá mynd 5-3)

**Mynd 5-1:**

Flæðirit fyrir mat á efni til notkunar í burðarlag vegar

Ef efnið telst ónothæft, samkvæmt mynd 5-1 vegna þess að það uppfyllir ekki kröfur um kornadreifingu, er hægt að samþykkja notkun þess ef það stenst kröfur til burðarpolsprófana. Leiðin sem farin er í því sambandi, er sýnd á mynd 5-2. Skilyrði fyrir því að þessi leið sé farin er eins og áður segir, að aðrar kröfur til steinefna séu uppfylltar, sjá mynd 5-1.

Til greina kemur að fylgja ekki staðli fyrir CBR-próf hvað varðar efri flokkunarstærð og gera prófið þótt 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. Þetta er helst gert í þeim tilfellum að kornastærð fer ekki mikið út fyrir mörk til að spara dýrara plötupróf í stórum stálhólki.



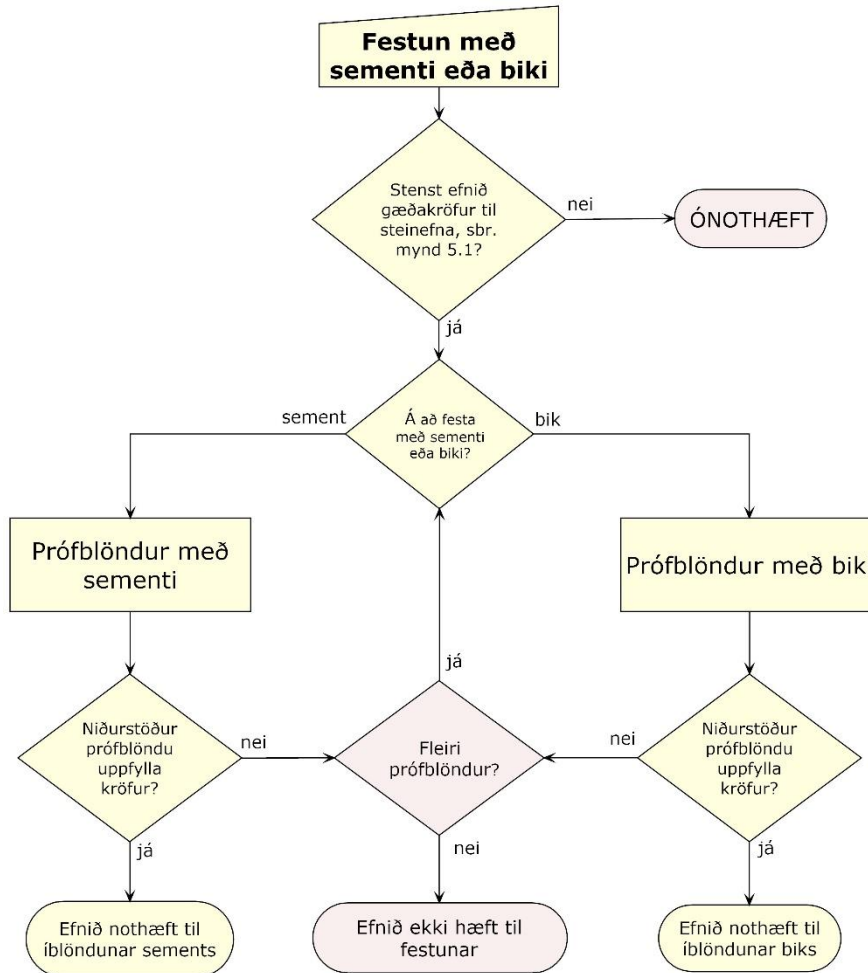
Mynd 5 2:

Flæðirit fyrir burðarpolspróf

Bik- eða sementsfestun burðarlags getur verið nauðsynleg ef umferðarálag er mikið á veginum, en kemur einnig til greina ef burðarlagsefnið uppfyllir ekki kröfur um kornadreifingu. Við mikið umferðarálag kemur einnig til greina að nota burðarlagsmalbik, en fjallað er um það í kafla 6.

Það er háð aðstæðum hverju sinni hvaða aðferð og efni eru valin til að festa burðarlag. Ef efnið er fínefnasnautt og stefnt er að því að auka burðarpól þess, er bikþeyta heppilegri en froðubik, meðan hið síðarnefnda getur verið hentugra við fínefnaríkari efni, þó bikþeyta komi þá einnig til greina. Sement er einnig notað sem bindiefni og er notað þar sem þörf er á sérstaklega sterku burðarlagi. Óháð því hvaða aðferð er valin, þarf að gera prófblöndur, sjá lýsingu á aðferðum í viðauka 1.

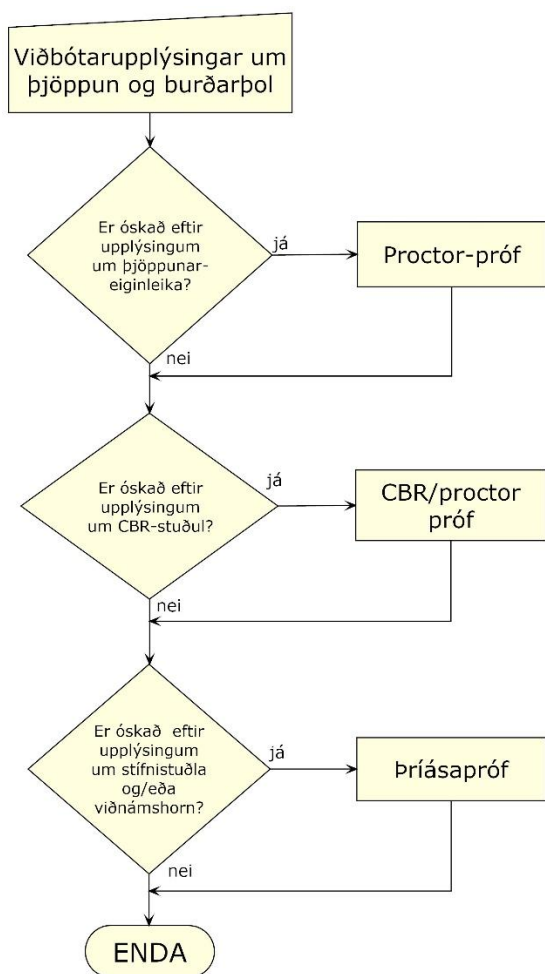
Með prófblöndunum, samanber flæðiritið á mynd 5-3, fást upplýsingar um væntanlega eiginleika bundna efnisins, meðal annars burðarþol. Einnig fást upplýsingar um hve mikið þarf að nota af bindiefninu í hverju tilviki fyrir sig.



Mynd 5 3:

Flæðirit fyrir próf ef binda á burðarlagsefni

Þegar búið er að samþykkja efni sem burðarlagsefni samkvæmt ofangreindum aðferðum, er oft einnig þörf á að fá fleiri upplýsingar um eiginleika þess, einkum efnismassans í heild. Flæðirit á mynd 5-4 sýnir hvaða próf eru gerð í því sambandi. Proctorpróf gefur upplýsingar um þjöppunareiginleika efnisins við mismunandi rakastig, en mikilvægt getur verið að hafa þær upplýsingar til að tryggja að efnið þjappist eins og best verður á kosið. Ef þykkt burðarlaga er hönnuð samkvæmt 2. þrepi í norsku handbókinni (Vegbygging, N200), getur verið þörf á að gera CBR-próf. Sé það gert, fást jafnframt upplýsingar um þjöppunareiginleika efnisins eins og í proctorprófinu. Upplýsingar um stífniustuðla, sem notaðir eru ef fræðilegar aðferðir eru notaðar við þykktarhönnun (3. þrep samkvæmt norsku handbókinni), fást úr kviku þríasaprófi. Þríasapróf (stöðugt) gefur upplýsingar um viðnámshorn (ϕ) og samloðun (c), ef þess er óskað.

**Mynd 5 4:**

Flæðirit fyrir próf til að kanna eiginleika burðarlagsefna

Að lokinni yfirferð prófana með hliðsjón af ofangreindu er hægt að vega og meta hæfi viðkomandi efnisnámu til notkunar í burðarlag. Segja má að allir helstu eiginleikar efnisins sem máli skipta varðandi hæfi sem burðarlagsefni hafi verið kortlagðir, auk þess sem niðurstöðurnar geta nýst vel við val á efni í slitlag.

5.2.2 Steinefnapróf

Með steinefnaprófum eru skoðuð gæði einstakra korna eða hóps korna í efninu og út frá niðurstöðum þeirra er hægt að meta almennt gæði efnisins til notkunar í burðarlag. Til að fá marktæk sýni til prófana þarf að vinna efnið, sem getur falið í sér að flytja stór sýni til tilraunamölunar fjarri fyrirhuguðum efnistökuastað. Mikilvægt er að efnið sé malað á þann hátt sem gert er ráð fyrir að vinna það, enda hefur mölun áhrif á efniseiginleika. Til samanburðar eru svo tekin fleiri sýni úr námunni, sem eru prófuð óunnin, til að kanna einsleitni hennar, sjá viðauka um sýnatöku.

Prófanir á steinefnum má flokka niður eftir því hvaða eiginleikum verið er að leita eftir í steinefninu, eins og fram kemur í milli-fyrirsögnum hér á eftir. Kröfur fyrir burðarlagsefni er að finna í kafla 5.5.1. Prófunaraðferðum er lýst í viðauka 1.

Kornadreifing

Mæling á kornadreifingu er yfirleitt fyrsta prófið sem gert er á steinefnasýni sem ætlað er til nota í burðarlag. Þegar kornadreifing er skoðuð almennt, þarf að gæta að því hvort of mikið er af yfir- og undirstærðum í hverju tilfelli miðað við þær flokkunarstærðir sem leitað er eftir. Við vinnslu burðarlags er hægt að hafa veruleg áhrif á kornadreifingu, til dæmis með því að þvo fínefni burtu, bæta við eða taka frá ákveðnar kornastærðir, eða blanda saman mismunandi kornastærðum. Niðurstöður kornadreifingar eru settar fram á eyðublaði, þar sem lesa má þyngdarhluta efnis sem smýgur ákveðið sigti. Dæmigert malað set (laust efni) í burðarlag hefur gjarnan nokkuð jöfn hlutföll kornastærða, þannig að efnið pakkast og þjappast vel og verður stöðugt eftir lögn og þjöppun. Sérstaklega er litið til þess hvort magn efnis $< 0,063$ mm, er innan tilskilinna marka. Fínefni ($< 0,02$ mm), þótt í litlum mæli sé, getur haft afgerandi áhrif á efniseiginleika steinefna, t.d. frostnæmi. Hlutfall fínefna er mælt með *hydrometerprófi* eða *laserprófi*. Einnig er þess gætt að samræmi sé á milli efri flokkunarstærðar steina í lagi og lagþykktar, samanber viðmið sem sett eru fram þar að lútandi í kafla 5.1. Gerðar eru kröfur um magn fínefna og einnig að efnið í heild sé innan marka fyrir kornadreifingu burðarlagsefnis, þ.e.a.s. innan markalína eða ákvæða um undir- og yfirstærðir. Ef kornadreifing sprengds og malaðs bergs er of einskorna og uppfyllir ekki kröfur um kornastærðir, getur lausnin verið sú að jafna yfirborðið við útlögn með því að fylla í holrými (kíla) til dæmis með sandi.

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 meðal annars upplýsingar um þéttleika og ummyndunarstig efnis. Það gefur aftur vísbendingar um hvort hætta er á að efnið brotni niður og hvort of mikið fínefni myndist við þjöppun og vegna umferðarlags á veginum. Yfirleitt eru nokkur hundruð korn af ákveðinni kornastærð tekin til greiningar. Lögun 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 lögun og hreinleika korna, fjöldi talinna korna, jarðfræðilegar upplýsingar um steinefnið og 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 héraðs að flokka bergbrigði í þrjá gæðaflokka, en sú flokkun byggir á reynslu af hæfi þeirra héraðs. Gæðaflokkunin, oftast magn 3. flokks efnis, er notuð til að meta efnisgæðin almennt, en einnig er hún ákvarðandi í sumum tilfellum um framhaldsprófanir og kröfur.

Kornalögun: Lögun einstakra korna hefur áhrif á tæknilega eiginleika þeirra. Oft er lögun korna lýst með hugtökum svo sem teningslaga (kúbísk), hnöttótt, flöt, plötulaga, flöng og stafлага. Þegar korn eru berggreind er lögun þeirra lýst í almennum orðum (þ.e.a.s. tekið er fram að meiri hluti sýnis sé teningslaga, flatur eða ílangur), en

til þess að fá samanburð á milli efna svo og töluleg gildi á kornalögun er nauðsynlegt að mæla hana á vissan hátt.

Lögun steina hefur áhrif á notkunarmöguleika þeirra. Brotstyrkur teningslaga korna er að öðru jöfnu meiri en styrkur flatra og ílangra korna. Einnig má nefna að stæðni óbundinnar malar er betri ef efni er teningslaga en ef það er flatt og ílangt, þar sem fyrrnefndu kornin raða sér strax, en flötu og ílöngu kornin geta þurft tíma til þess að leggjast flöt. Því skal velja vinnsluaðferðir (til dæmis val á brjótum) fyrir burðarlagsefni sem stuðla að teningslögun korna við framleiðslu. Rétt er að benda á að hér er ekki átt við að efni skuli vera kúlulaga, heldur teningslaga, þótt kornalögunarmælingin gefi í raun ekki upplýsingar um hvort er að ræða. Fullyrðingin um stæðni teningslaga korna á ekki við um stæðni kúlulaga korna. Einnig er rétt að hafa í huga að fleiri þættir ráða stæðni efnis, svo sem yfirborðsáferð korna, en brotin korn eru að jafnaði hrjúfari en óbrotin.

Brothlutfall: Mæling á brothlutfalli steinefna úr möluðu seti gefur upplýsingar um hlutfall brotinna og óbrotinna korna í sýni sem greint er. Í brothlutfallsmælingu kemur fram hversu stór hluti einstakra korna hefur brotflöt. Einnig er mælt hversu hátt hlutfall korna eru alveg núin (óbrotin). Brothlutfall hefur áhrif á notkunarmöguleika steinefna vegna þess að tæknilegir eiginleikar ráðast að hluta til af yfirborðsáferð korna. Þegar gerð er krafa um að steinefnakorn séu að mestu teningslaga (kúbísk), er mikilvægt að hluti yfirborðs þeirra hafi einnig ferska brotleti. Ástæðan fyrir því er að slétt og núin steinefnakorn hafa ekki mikla stæðni og renna til hvert á öðru. Brotletir á kornum varna því að slíkt skrið eigi sér stað. Þetta á bæði við um grófa hluta efnisins og sandstærðirnar. Mikilvægt er að burðarlagsefni séu með nokkuð hátt hlutfall brotinna korna til þess að stuðla að viðunandi burðarþoli.

Berggæði

Styrkur: Styrkur korna í burðarlagsefni er mikilvægur eiginleiki, enda getur álag á slíkt efni verið mikið við útlögn (vinnuumferð, völtun), en einnig eftir að vegur hefur verið tekinn í notkun. Þetta á sérstaklega við efst í burðarlagi undir þungri umferð, ef slitlagið er þunnt (t.d. klæðing). Ef styrkur steinefna er ekki nægilegur er hætt á að þau molni niður undan álagi. Ef umtalsverður hluti steinefnisins er mikið ummyndaður geta myndast skaðleg fínefni við niðurbrotið, sem geta gert efnið frostnæmt. Ef veik steinefni eru hinsvegar fersk, en blöðrótt er ekki hætt á myndun skaðlegra fínefna, þótt umtalsvert niðurbrot eigi sér stað.

Tvenns konar próf eru notuð hérlandis 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 af stærðarbilinu 10 til 14 mm sem brotnar niður fyrir 1,6 mm möskvastærð (%). Aðferðin hentar vel til mælinga á styrk malaðs bergs, þótt hún sé einnig ætluð til mælinga á sýnum úr möluðu seti. 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 ákveðna kornadreifingu fyrir prófun. Um er að ræða lokaða kornakúrfu (Füller-kúrfu) með ákveðið rakastig. Niðurstaðan er gefin upp sem mismunur á milli upphaflegrar kornakúrfu sýnis og

kornakúrfu þess eftir Proctor þjöppun (e. modified Proctor). Aðferðin hentar vel til þess að mæla styrk malaðs sets.

Í Los Angeles prófi er sýnið þurrt 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 prófsins 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 framleiðslustaðli ÍST EN 13242, þar sem m.a. er fjallað um framleiðslueftirlit (e. Factory Production Control, FPC) er heimilt að nota prófunaraðferð við framleiðslueftirlit ef sýnt hefur verið fram á góða fylgni niðurstaðna við niðurstöður þeirrar aðferðar sem er í prófunarstöðlum (e. Standard Reference Test).

Veðrunarþol (frostþolspróf): Í sumum tilfellum getur verið nauðsynlegt að gera frostþolspróf á steinefnum sem ætluð eru til nota í burðarlag. Það á helst við ef berggreining bendir til ummyndunar steinefnisins, þannig að frostnæm efni geti myndast við niðurbrot efnisins. Frostþolspróf á lausum steinefnum gefa upplýsingar um hæfi þeirra til þess að standast endurteknar frost/þíðu-sveiflur án þess að eiginleikar þeirra breytist verulega.

Eiginleikar fínefna

Eins og fram kemur í flæðiritinu á mynd 5-1 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 burðarlagsefni 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 á því. Þjálmiþróf (e. Plasticity Index) er gefinn upp sem munurinn á flæðimarki (hæsta rakagildi sem efni getur haft án þess að missa þjálmi sína og verða flotkennt) og þjálminarki efnisins (lægsta rakagildi sem efni getur haft án þess að molna í sundur við hnoðun).

Húmusþróf: Í flestum tilvikum er auðvelt að sjá hvort sýni er blandað lífrænum efnum. Ef grunur leikur á að lífræn óhreinindi geti verið í sýni er lagt til að gert verði húmusþróf á því. Prófið felst í því að setja sýni í NaOH lausn, en lífræn óhreinindi lita lausnina, mismikið eftir magni lífrænna efna. 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.

5.2.3 Próf á efnismassa

Í kaflanum hér á undan er greint frá prófunum sem mæla magn eða eiginleika einstakra korna. Einnig er mikilvægt að vita hvernig efnið hegðar sér í heild, þ.e.a.s hverjir eru eiginleikar efnismassans (efnisheildarinnar), samanber kafla 5.2.1.

Proctorpróf mælir þjöppunareiginleika efnismassa við mismunandi rakastig. Önnur próf eins og CBR-próf, stöðugt þríasapróf og plötupróf í stórum stálhólki meta burðarhæfi efnisins. Kleyfnistyrkspróf á bikbundnum efnum og þrýstistyrkspróf á sementsbundnum efnum gegna samskonar hlutverki. Slíkar mælingar eru einnig gerðar í tengslum við prófblöndur sem þarf að gera ef ákveðið er að festa efni í burðarlagi með biki eða sementi. Einnig er hægt að gera próf (kvik þríasapróf) til að fá upplýsingar sem nýtast við burðarþolshönnun, með fræðilegum aðferðum, en slíkar aðferðir hafa þó ekki rutt sér til rúms hérlandis til þessa.

Þær prófanir sem um er að ræða í þessu sambandi eru taldar upp hér á eftir, með upplýsingum um það hvers vegna hvert þeirra er gert. Kröfur til efnismassa burðarlagsefna er að finna í kafla 5.5.2. Nánari lýsingar á prófunum má 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. Þó skal bent á að raki hefur lítil áhrif á þjöppun efnis ef það er fínefnasnautt og sandríkt. Niðurstöður proctorprófsins nýtast í tengslum við mat á þjöppun í vegi.

CBR-próf: Þetta próf er gert á efni sem smýgur 22,4 mm sigti og er mælikvarði á burðarhæfileika þess. CBR-prófið er gert á efni sem ekki uppfyllir kröfur um kornadreifingu. CBR-prófið má einnig gera í tengslum við mat á efni vegna burðarþolshönnunar samkvæmt 2. þrepi í norsku handbókinni (Vegbygging, N200). Við mat á niðurstöðum CBR-prófs, skal hafa hliðsjón af kröfum í kafla 5.5.2. Rétt er að hafa í huga að reynsla er fyrir því að fínefnaríkt efni getur haft hátt CBR-gildi, en varasamt er að nota það í burðarlag, 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 hafi samt reynst nothæft í burðarlög á vegi með litla umferð. Samkvæmt stöðlum fyrir CBR-prófið er hægt að gera það á efni með allt að 30% korna sem ekki smjúga 22,4 mm sigti, að því tilskildu að kornakúrfan sé leiðrétt á ákveðinn hátt.

Plötupróf í stórum stálhólki: Prófið er mælikvarði á burðareiginleika efnisins og er hægt að gera á efni með stærstu steinastærð allt að 152 mm. Plötupróf í stórum stálhólki er ætlað fyrir efni sem er of gróft fyrir CBR-próf.

Prófblöndur á bikbundnu efni: Prófblöndur eru gerðar til að fá upplýsingar um heppilegasta bikinnihald og aðra eiginleika blöndunnar. Prófblöndur hefjast með því að gert er proctorpróf á efninu og í framhaldi af því er efnið blandað með mis miklu magni af biki, kjarnar þjappaðir og gert á þeim kleyfnistyrkspróf. Það bikinnihald sem gefur bestar niðurstöður úr kleyfnistyrksprófinu er valið, að því tilskildu að niðurstaðan uppfylli einnig lágmarkskröfur til kleyfnistyrks.

Prófblöndur á sementsbundnu efni: Prófblöndur eru gerðar til að fá upplýsingar um hvaða sementsmagn og rakainnihald gefur besta eiginleika blöndunnar. Gerðar eru blöndur með mismunandi sementsmagni og rakainnihaldi, þjappaðir sívalningar og þrýstistyrkur þeirra mældur eftir 7 sólarhringa.

Þríasapróf: Þríasapróf geta verið tvenns konar. Annars vegar stöðuálagspróf (statísk) og er þá verið að finna hefðbundna jarðtæknilega eiginleika efna, s.s. viðnámshorn (∇) og samloðun (C), og einnig er hægt að fá fleiri upplýsingar, s.s. um lekt efnisins, eftir því hvernig prófið er gert. Hins vegar er sveifluálagspróf (dynamískt), sem notað er til að meta stífnieiginleika efnis. Upplýsingar um stífnieiginleika er hægt að nota við burðarþolshönnun með greiningaraðferðum (analytical methods).

5.2.4 Fjöldi prófa við hönnun

Fjöldi prófa við hönnun fer eftir áætluðu efnismagni sem þarf til verksins. Við forrannsóknir, þegar valið stendur á milli nokkurra náma, er það í höndum hönnuðar hversu mörg próf hann telur að þurfi að gera á sýnum úr þeim. Þegar náma/efnistökustaður hefur verið valin, ræðst fjöldi prófa sem á að gera, af magni sem gert er ráð fyrir að vinna. Lágmarksfjöldi prófa miðað við magn, kemur fram í töflu 5-1. Mikilvægt er að hafa í huga að vönduð sýnataka vegna rannsókna á hönnunarstigi er stór þáttur í að vel takist til. Sýnin þurfa að gefa mynd af öllu því svæði sem gert er ráð fyrir að vinna efnið úr. Þau sýni sem fara í prófun þarf að vinna með svipuðum aðferðum og ætlunin er að nota á framleiðslustigi. Ef breytileiki er mikill getur verið þörf á fleiri prófunum en sýndar eru í töflunni. Breytileiki efnis getur verið talsvert mismunandi eftir jarðmyndunum.

Tafla 5-1:
Lágmarksfjöldi prófana á burðarlagsefni úr námu, miðað við efnismagn sem áætlað er að vinna úr henni

Efnis- magn, þús. m³	Korna- dreifing	Þjálmi/ húmus (sjónmat)**	Berg- greining	Brothlut- fall og kornalögun	Veðrunar- þol (frostþols- próf)*	Styrkur (LA/Bg)
0-10	4-5	4-5	1	1	(1)	1
10-20	5-7	5-7	1	1	(1)	1
20-30	7-8	7-8	1-2	1-2	(1-2)	1-2
30-40	8-10	8-10	2-3	2-3	(2-3)	1-2
40-60	10-12	10-12	3-4	3-4	(3-4)	2-3

* aðeins gert ef niðurstöður berggreiningar gefa tilefni til

** gert um leið og kornastærðarmæling

5.3 Próf við framleiðslu

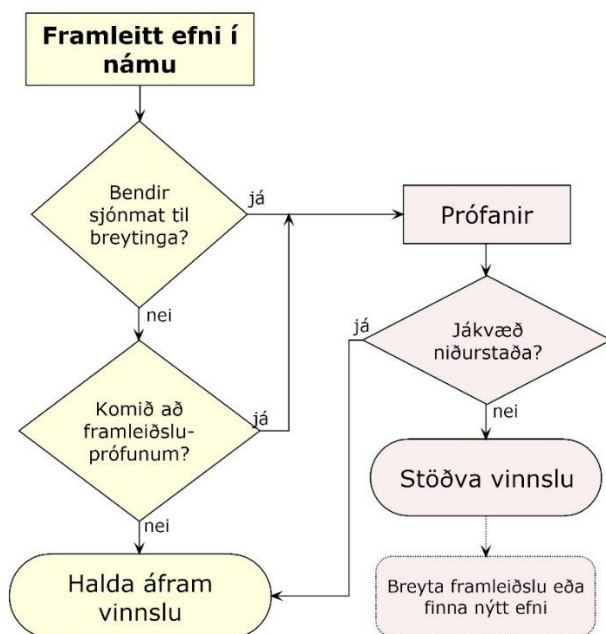
Tilgangur með efnisprófum við framleiðslu er að fá fullvissu um að efni sem framleitt er hafi þá eiginleika sem stefnt var að á hönnunarstigi og til að tryggja að gæði efnisins haldist í samræmi við kröfur allt framleiðsluferlið. Með orðinu framleiðsla er hér átt við efnisöflun og aðra vinnslu efnis,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

Það er mismunandi eftir efnisgerð og hvernig framleiðslu er háttað, hvaða próf á að gera á þessu stigi. Hér á eftir verður fjallað um þau próf sem verktaki á að framkvæma samhliða framleiðslu efnisins. Hér er átt við prófanir á efninu í námunni, þ.e.a.s. áður en því er ekið út í veg. Þar sem kröfur miðast við efni á framleiðslustað er mjög mikilvægt að ekki verði aðskilnaður kornastærða í efnishaugum. Mikil hættu er á aðskilnaði í keilulaga haugum og því er æskilegt að haugsetja efnið í láréttum lögum sem ekki eru meira en 2 m á þykkt til að forðast aðskilnað. Slíkir haugar geta þó skapað ákveðin vandamál á framleiðslustað, þar sem þeir þurfa verulegt rými á haugsvæðinu, sjá nánari umfjöllun í ritunum „Notkun bergs til vegagerðar – vinnsla, efniskröfur og útlögn“, „Handbók um vinnslu steinefna til vegagerðar“ og „Sprengt berg í vegagerð“, sjá vefslóð: <http://www.vegagerdin.is/upplýsingar-og-utgafa/leidbeiningar-og-stadlar/efnisrannsoknir/>.

5.3.1 Verkferlar

Við framleiðslu er mikilvægt að fylgjast með því að efnið sé ekki að breytast frá því sem gert var ráð fyrir við hönnun. Það er gert með því að prófa efnin reglulega og skal ávallt gera framleiðsluprófanir að lágmarki með þeirri tíðni sem tilgreind er í töflu 5-2. Mikilvægt er að nota einnig sjónmat til að fylgjast með vinnslu eða framleiðslu efnis og meta breytingar á efninu allt framleiðsluferlið. Í flæðiriti á mynd 5-5 er sýndur verkferill fyrir próf við framleiðslu.

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. Þá kemur hugsanlega til greina að hægt sé að nota efnið ef það stenst kröfur til burðarþolsprófa, eins og nefnt er í kafla 5.3.3. Einnig má kanna hvort hægt sé að nota efnið með því að binda það með sementi eða biki. Í köflunum hér á eftir er gerð nánari grein fyrir einstökum prófum.



Mynd 5-5:

Flæðirit fyrir framleiðslupróf

5.3.2 Steinefnapróf

Í töflu 5-2 eru talðar upp þær prófanir sem gerðar eru á burðarlagsefnum við framleiðslu. Kröfur til efnis í burðarlag koma fram í kafla 5.5.1. Það próf sem oftast er gert til að fylgjast með framleiðslu efnisins er mæling á kornadreifingu. Samhliða mælingu á kornadreifingu er gert sjónmat á lífrænum óhreinindum og þjálmi fínefna, en prófanir á þessum eiginleikum þarf einungis að gera ef grunur leikur á að efnið standist ekki kröfur. Berggreining og mæling á brothlutfalli og kornalögun er framkvæmd nokkrum sinnum í hverju verki, sjá töflu 5-2. Þessar prófanir eru mikilvægar, sérstaklega þar sem prófanir við hönnun eru oft ekki gerðar á efni sem hefur verið unnið að öllu leyti með sama hætti og við framleiðslu. Niðurstaða berggreiningar getur kallað á prófanir á styrkleika efnisins og frostþoli þess.

Ef ákveðið var að nota efni sem ekki stóðst kröfur til kornadreifingar, en stóðst aðrar kröfur til steinefnis og kröfur um burðarþol (samanber mynd 5-2), er kannað hvort kornadreifing eða aðrir eiginleikar séu að breytast frá því sem mældist á hönnunarstigi.

5.3.3 Próf á efnismassa

Prófanir á efnismassa efnis í burðarlag á framleiðslustigi eru sjaldgæfar. Ef sjónmat eða niðurstöður steinefnaprófa benda til breytinga á efni sem ákveðið var að nota að undangengnu burðarþolsprófi, sjá mynd 5-2, þarf að endurtaka burðarþolsmælingarnar til að kanna hvort efnið stenst enn kröfur til þeirra.

Þegar efni í burðarlag er blandað með biki eða sementi í stöð, er fylgst með framleiðslunni samkvæmt kafla 5.3.4.

Fyrir bikblandað efni skulu tekin sýni til að mæla bikinnihald og jafnframt skal þjappa kjarna og mæla kleyfnistyrk þeirra, a.m.k. einu sinni í hverju verki. Ef notað er froðubik til festunar skal athuga hvernig bikið freyðir. Um kröfur til gæða froðubiks, vísast í kafla 5.5.3. Fyrir sementsblandað efni eru tekin sýni og þau þjöppuð í mót til að mæla rúmpýngd þeirra og þrýstistyrk eftir 7 daga.

5.3.4 Tíðni prófa við framleiðslu

Tíðni prófa við framleiðslu, er háð magni sem framleitt er og umferðarpunga. Tafla 5 2 sýnir tíðni prófa miðað við framleitt magn steinefnis og fjölda þunga ökutækja³, til dæmis ein kornastærðarmæling fyrir hverja 1 eða 2 þúsund rúmmetra og ein berggreining fyrir hverja 6 eða 9 þúsund rúmmetra. Alltaf skal gera eitt próf við upphaf framleiðslu og síðan með þeirri tíðni sem taflan tilgreinir.

Tafla 5 2:
Lágmarkstíðni steinefnaprófa á burðarlagsefni á framleiðslustigi

	Fjöldi þunga ökutækja, ÁDU _p		
Próf (framleiddir m ³)	≥ 400	≥ 10	< 10
Kornadreifing	1000	1000	2000
Húmus (sjónmat)			
Þjálni (sjónmat)			
Berggreining	6000	9000	9000
Kornalögun			
Brothlutfall	1500	3000	3000
Frostþol*	-	-	-
Styrkleikapróf	6000	9000	9000

Gera skal eitt próf fyrir það magn sem tilgreint er í töflunni (m³). Auka þarf tíðni prófana ef prófanir á hönnunarstigi voru ekki gerðar í samræmi við leiðbeiningar. Ekkert af þessum prófunum skal gera sjaldnar en einu sinni í verki, einu sinni á hverjum efnistöðustað eða tvisvar sinnum á ári.

* Ef steinefni stenst ekki leiðbeinandi kröfur um gerð og magn 3. flokks efnis samkvæmt berggreiningu, getur það kallað á að einnig sé gert frostþolspróf á framleiðslustigi.

Þegar efni í burðarlag er blandað með biki (froðubiki eða bikþeytu) í blöndunarstöð skal taka sýni fyrir hver 500 tonn sem framleidd eru. Fyrstu tvo dagana skal taka a.m.k. 8 sýni ef verið er að blanda viðkomandi efni í fyrsta sinn, eða ef verið er að nota viðkomandi blöndunarstöð í fyrsta sinn. Kjarnar eru steiptir og kleyfnistyrkur þeirra mældur. Gera skal athuganir á gæðum froðubiks og bikþeytu a.m.k. einu sinni á dag. Ef sementi er blandað í efni í blöndunarstöð skal mæla kornadreifingu steinefnis, húmusinnihald (sjónmat), sementsmagn sem notað er og þjöppun sýna fyrir hver 500 tonn sem framleidd eru.

³ Sjá umfjöllun um þung ökutæki í inngangi Efnisgæðaritsins

5.4 Próf og mælingar við framkvæmd

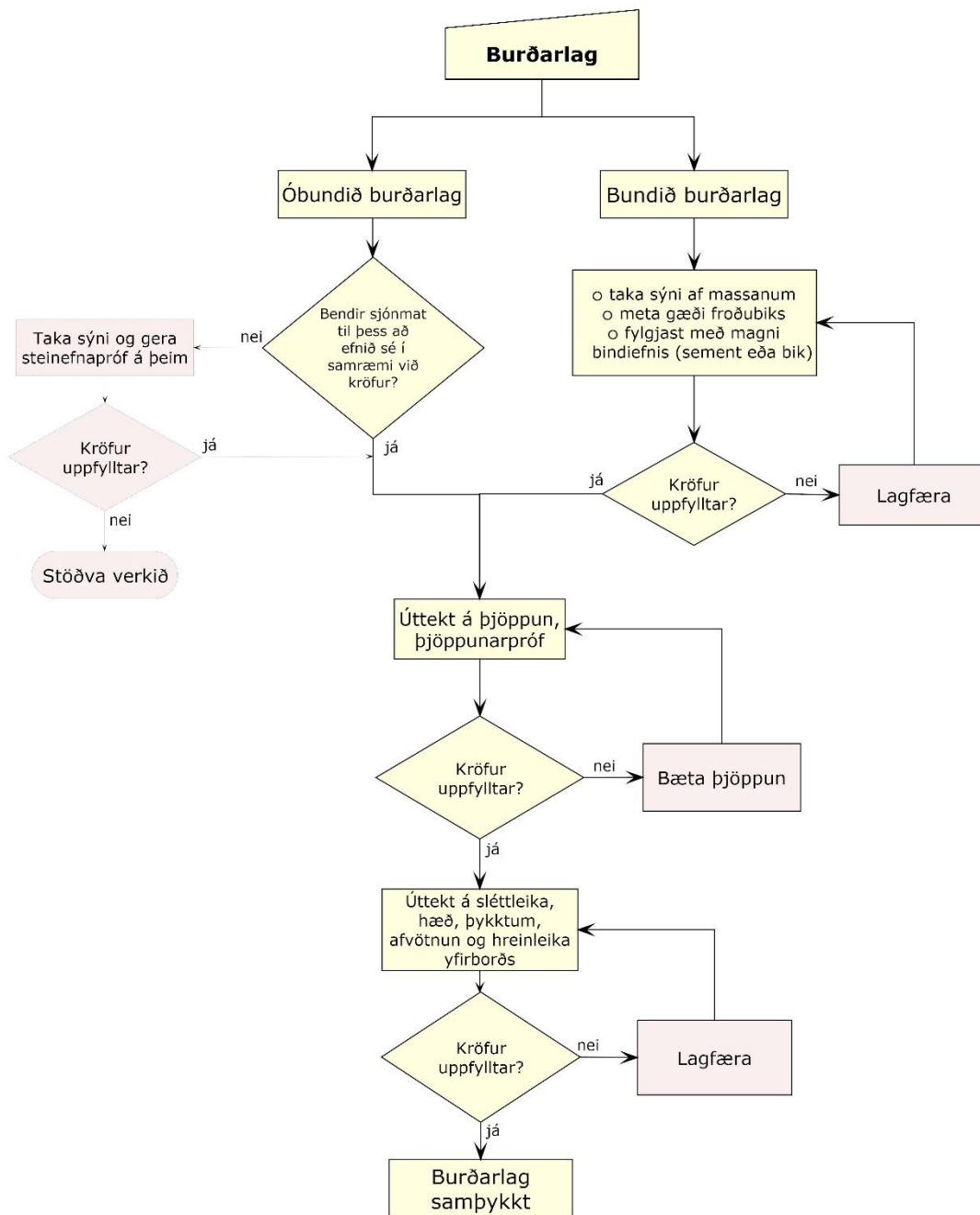
5.4.1 Verkferlar

Flæðirit á mynd 5-6 sýnir feril athugana og mælinga sem gerðar eru þegar unnið er að byggingu burðarlaga (framkvæmdastig). Verkferillinn gengur út á að sannreyna að verkið sé unnið í samræmi við kröfur og einnig til að tryggja að efnið sem notað er hafi ekki breyst frá framleiðslu þar til það er komið í veginn.

Eins og fram kemur í flæðiritinu skal ávallt sjónmeta efnið eftir að það hefur verið lagt út og ef einhver grunur leikur á að það sé gallað á einhvern hátt, eða standist ekki kröfur sem gerðar eru til gæða þess, skal taka sýni af efninu og prófa það. Þetta á við ef efnið í burðalaginu er ekki bundið með biki eða sementi. Ef efnið er bundið skal taka sýni af útlögðu efni, samanber það sem fram kemur í flæðiritinu. Fyrir óbundið efni ætti aðeins að þurfa að taka sýni í undantekningartilvikum ef farið hefur verið eftir þeim leiðum sem fjallað er um hér að framan varðandi prófanir á hönnunarstigi og framleiðslustigi. Til að leggja áherslu á þetta, er sá hluti flæðiritsins á mynd 5-6 hafður með strikálínum.

Þegar búið er að leggja efnið út og þjappa það, er kannað hvort þjöppunin sé nægileg með aðferðum sem lýst er hér á eftir. Einnig eru gerðar kröfur til sléttleika yfirborðsins, afvötnunar og hreinleika þess, sem skal kanna og mæla eftir því sem við á.

Hér á eftir er gerð grein fyrir helstu prófunum og mælingum sem gerðar eru í tengslum við þennan verkferil.

**Mynd 5-6:**

Flæðirit fyrir próf og mælingar við gerð burðarlags

5.4.2 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 burðarlagsefnis, ætti ekki að þurfa að gera nein steinefnapróf á efni eftir að það hefur verið lagt út, nema ef sjónmat bendir til að efnið standist ekki kröfur. Ef um slíkt er að ræða eru gerð sömu próf og nefnd eru í köflum 5.2.2 og 5.3.2, háð því hver ástæðan er fyrir því að ákvörðun er tekin um prófanir. Vísast því í þessa kafla og um kröfur til steinefna er fjallað í kafla 5.5.1.

5.4.3 Próf og mælingar

Hér er fjallað um þau próf, mælingar og athuganir sem gerðar eru eftir að efni hefur verið lagt út og þjappað. Um er að ræða þjöppunarpróf, mælingar á sléttleika og þykktum og sjónmat á yfirborði burðarlags, en einnig er gerð grein fyrir prófunum á bundnum burðarlögum og athugun á froðubiki. Um kröfur til niðurstaðna prófa og mælinga vísast í kafla 5.5.3.

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

Þegar óbundið burðarlag er þjappað skal ávallt telja fjölda yfirferða valta og miða við lágmarksgildi í samræmi við gerð valta og lagþykktir, eins og fram kemur í töflu 5-3. Ef lagþykkt er önnur eða notuð er önnur gerð valta þarf að velja fjölda umferða sem tryggir að sambærileg þjöppun náist. Valtar skulu vera með tölvubúnað 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. 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 5 km/klst. Auk þess þarf að gera einhver þeirra prófa sem nefnd eru hér á eftir til að meta árangur þjöppunarinnar.

Tafla 5-3:
Val á valta, lagþykkt og fjölda yfirferða fyrir óbundin burðarlög

Gerð valta	Heildar- þyngd, t	Statísk þyngd, kg/cm*	Lagþykkt, mm	Lágmarksfj. yfirferða
Einnar tromlu titurvalti	6-8	15-25	100	6
	8-10	25-35	200	6
	10-13	35-45	250	6
Tveggja tromlu titurvalti	2-4	15-25	100	6
	4-8	15-25	200	6
	8-13	25-35	250	6

* Þyngd á hverja valtatomlu í kg á breiddareiningu hvernar valtatomlu sem mæld er í cm

Taflan er unnin með hliðsjón af töflu 602.3 bls. 186 í Vegbygging N200 (útgáfa 2018) og töflu E5.4-3 bls. 44 í ATB VÄG (útgáfa 2005).

Árangur þjöppunar skal einnig meta með kvörðuðum niðurstöðum þjöppunarmælis í valta. Því skal valti vera með þjöppunarmæli og mæliaflestur vera skráður reglulega. Slíkir valtar eru með tölvubúnað, sem sér um skráninguna og er hægt að fá skýrslu um þjöppunina strax á staðnum. Til að hægt sé að vinna með þjöppunarmæli í völtum skal kvarða mælinn með því að gera tilraunþjöppun á efninu sem notað er, mæla það og bera saman við niðurstöður plötuprófs. Tilraunþjöppun skal gera á vegarkafli sem hefur einsleita efnisgerð og undirstöðu og skulu prófin gerð á veikustu svæðum kaflans. Endurtaka skal kvörðun þjöppunarmælis á minnst 2 mánaða fresti eða eftir hverja 15.000 m² sem unnir hafa verið og eins ef skipt er um efnistökuastað, breyting verður á efnisgerð, undirbygging breytist, o.s.frv. Mæligildi þjöppunarmælis í valta skal prenta út fyrir allt þversnið vegarins og skila því á tölvutæku formi. Í kafla 5.5.3 eru birtar kröfur til þjöppunar.

Einnig er hægt að meta árangur þjöppunarinnar með rúmþyngdarmælingum (geisla-mælingum, rafsegulmælingum eða sandkeiluprófi), plötuprófi eða í undantekningartilvikum hæðarmælingum.

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

Tafla 5-4:

Aðferðir til mælinga á þjöppun

Aðferð	Notkunarvið og athugasemdir
Telja fjölda umferða	Tölvubúnaður með GPS staðsetningu.
Þjöppunarmælir í valta	Tölvubúnaður með GPS staðsetningu, tengdur þjöppunarmæli.
Plötupróf	Notað til eftirlits þar sem umferð þungra bíla er meiri en 400 ÁDUÞ en einnig á umferðarminni vegum til kvörðunar á þjöppunarmælum í völtum.
Rúmþyngdarmæling (sandkeilupróf)	Takmarkast við burðarlög með hámarkskornastærð 25-30 mm. Prófið er tímafrekt og niðurstöður liggja ekki fyrir fyrr en á þriðja degi eftir að það er gert.
Rúmþyngdarmæling (geisla-mælingar)	Takmarkast við hámarkskornastærð 25-30 mm, en hefur stundum verið notað á efni með allt að 50 mm stærstu kornastærð með viðunandi árangri.
Hæðarmæling	Hægt að nota við allar aðstæður en er þó einungis notað í undantekningartilvikum.

Þegar burðarlag er bundið með biki eða sementi þarf á sama hátt og fyrir óbundin efni að tryggja nægilega þjöppun. Þjöppunin er oftast mæld með geisla-mælingum eða rafsegulmælingum, þar sem rúmþyngd efnisins er mæld og fylgst með hvernig hún breytist á milli umferða valtans. Um kröfur til niðurstaðna þessara mælinga, vísast í kafla 5.5.3.

Sérprófanir fyrir bundin burðarlög: Þegar burðarlag er bundið með biki eða sementi á staðnum (þ.e.a.s. ekki blandað í stöð), hvort sem það er gamall vegur eða nýbygging,

skal taka sýni af efninu eftir að búið er að leggja það, til að geta metið hversu vel blöndunin hefur tekist. Sýnin, eitt úr hvorri akrein, eru tekin eftir íblöndun biks eða sements og jöfnun með hefli, en áður en þjöppun fer fram. Þegar um fræsun og bikfestun er að ræða, á að færa sýnið á rannsóknastofu og mæla bikinnihald þess. Niðurstöður gefa m.a. til kynna hvort blöndun sé nægilega góð (þ.e.a.s. hvort of mikil dreifing er á niðurstöðunum). Þjappa skal kjarna úr hluta af sýnum (a.m.k. einu í hverju verki og fleiri ef um stórt verkefni er að ræða) og mæla kleyfnistyrk þeirra. Þetta er gert til að afla upplýsinga um líklegan styrk burðarlagsins, en verður ekki notað til beins eftirlits. Ef efni er bundið með froðubiki skal fylgjast með gæðum froðubiksins með því að athuga hvernig bikið freyðir. Er það gert á þann hátt að froðubiki er sprautað í fötu og kannað hversu mikið það þenst út, auk þess sem fylgst er með hversu hratt rúmmálið minnkar aftur.

Ef burðarlagsefni er blandað sementi skal steypa kjarna úr sýninu strax, með því að þjappa það í mót með Kango-hamri og þrýstistyrkur er síðan prófaður á rannsóknastofu eftir 7 daga hörðnun.

Þegar um er að ræða fræsinguna og festun skal fylgjast með bikmagninu sem notað er (aðfluttum förmum af bindiefni), bera bikmagnið saman við rúmmál þess efnis sem fræst er og kanna hvort það er í samræmi við fyrirskrifað bikinnihald.

Fyrir sementsfestun er ákvörðun á notuðu sementsmagni gerð þannig að 1 m² plata er sett á milli sementsdreifara og fræsara. Magn sements sem situr á plötunni er vigtað og borið saman við fyrirskrifað magn.

Sléttleiki, hannað yfirborð, þverhalli og þykktir: Gerðar eru kröfur um sléttleika yfirborðs þegar gengið er frá burðarlagi. Kröfur eru gerðar til mesta frávíks frá hönnuðu yfirborði sem er hæðarmælt í þriggja punkta þversniðum. Einnig eru gerðar kröfur til sléttleika, annars vegar þvert á akstursstefnu og hins vegar langs eftir akstursstefnu, mælt með 3 m langri réttскеið. Þá eru kröfur um að þykktir séu innan marka.

Sjónmat á yfirborði burðarlags: Þegar burðarlag hefur verið lagt skal yfirborð þess vera þannig að það hafi fullnægjandi afvötnun. Það mega ekki vera rastir í yfirborðinu og vatn má ekki safnast í polla á því. Yfirborðið skal vera laust við óhreinindi.

5.4.4 Tíðni prófa við framkvæmd

Við þjöppun er fjöldi yfirferða valtans ávallt talinn og skráður, en einnig þarf að gera aðrar mælingar (s.s. plötupróf, rúmþyngdarmælingar eða hæðarmælingar) til að staðfesta árangur þjöppunarinnar. Tíðni þeirra mælinga kemur fram í töflu 5-5.

Æskilegt er að valti sé búinn þjöppunarmæli, sjá kafla 5.4.3. Með því móti fæst mælikvarði í þjöppun alls yfirborðsins sem unnið er með. Slíka mæla þarf þó að kvarða með einhverju af ofangreindum prófum, en á móti kemur að fækka má öðrum mælingum sem gerðar eru til staðfestingar á árangri. Ef valti telur umferðir sjálfkrafa þá má minnka tíðni staðfestingarmælinga niður í 75% af því sem fram kemur í töflu 5-5 og ef valtinn mælir burðarþölgildi þá dugar að gera tvær staðfestingarmælingar fyrir hverja efnisgerð og gerð undirstöðu í hverju verki.

Tafla 5-5:
Tíðni mælinga á þjöppun óbundinna burðarlaga

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

Ef burðarlagið er bundið er þjöppun oftast eingöngu metin með rúmþyngdarmælingum (geislamælum) og skal hún þá mæld á 100 m bili.

Í töflu 5-6 eru tekin saman helstu próf (önnur en þjöppunarpróf) og mælingar sem gerðar eru þegar gamall vegur er fræstur og styrktur með íblöndun biks eða sements. Taflan á einnig við í nýbyggingum ef bindiefni er blandað í burðarlagið á staðnum.

Tafla 5-6:
Tíðni prófa á efni ef bindiefni er blandað í burðarlagið á staðnum

Gerð bindiefnis	Próf / Aðgerð	Tíðni
Sement eða bik	Sýni af bik- og sementsbundnu burðarlagi, eftir útlögn	Tekið á 500 m fresti, eitt sýni úr hvorri akrein.
Bik	Mæling á bikinnihaldi sýna úr bikbundnu burðarlagi	Öll sýni sem tekin eru
	Mæling á kleyfnistyrk bikbundinna efna	Eftir vali, a.m.k. eitt sýni úr hverju verki.
	Athugun á freyðieiginleikum froðubiks	Í upphafi verks og a.m.k. einu sinni á dag.
	Magn biks sem notað er við bikfestun	Reikna fyrir hvern 18-20 tonna farm af aðfluttu biki
Sement	Mæling á þrýstistyrkur sementsbundinna efna	Öll sýni sem tekin eru
	Mæling á sementsmagni við fræsingu og festun	Í upphafi verks og a.m.k. einu sinni á dag

Úttekt á sléttleika og þykktum skal gera áður en slitlag er lagt. Til þess eru gerðar hæðarmælingar með 20 m millibili í þriggja punkta sniðum, þ.e.a.s. á útbrúnum og miðju, fyrir alla umferðarflokka. Sléttleiki langs og þvers er mældur með 3 m réttскеið á 20 m bili fyrir alla umferðarflokka.

5.5 Kröfur

Við framsetningu á kröfum til steinefna og efnismassa hér á eftir, er almennt miðað við kröfuflokka sem settir eru fram í evrópskum framleiðslustöðlum, það er ÍST EN 13242 Steinefni í mannvirki og vegagerð, notuð óbundin eða bundin með vatnshverfum efnum (e. *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 Óbundnar blöndur – eiginleikar (e. *Unbound mixtures – Specification*), sem fjallar um kröfur til efnismassa. Rétt er að taka fram að fleiri kröfur eru í þessum stöðlum en teknar eru upp hér og að auki er skerpt á sumum þeirra í samræmi við reynslu hérlendis.

Kröfur til efnisgæða burðarlags miðast við áætlaðan fjölda þunga bíla á dag (ÁDU_b) á opnunarári 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 burðarlags þar sem þungaumferð er mikil, enda er hún ráðandi hvað varðar álag á burðarlag. Þungir bílar teljast vera bílar með heildarþyngd $> 3,5$ tonn og miðað er við þungaumferð samtals á tveggja akreina vegi.

Það er á valdi veghönnuðar hvaða kröfur til steinefna hann velur að gera hverju sinni. Þó er mikilvægt að rökstyðja slíka ákvörðun vel ef valið er að slaka á kröfum miðað við kröfur Efnisgæðaritsins. Kröfur Efnisgæðaritsins eru leiðbeinandi og miðast við að byggður verði traustur vegur með langan líftíma. Önnur sjónarmið geta komið til álita svo sem að stytta hannaðan líftíma vegarins og að kostnaður sé of mikill við að framleiða steinefni sem standast allar kröfur á viðkomandi svæði. Einnig ber að nefna sérstaklega að kröfur um styrk steinefna (LA gildi) í burðarlag miðast við að bundna slitlagið verði þunn klæðing. Ef fyrirhugað er að leggja burðarlagsmalbik ofan á óbundið burðarlag og síðan slitlagsmalbik kemur til greina að draga úr kröfum til styrks steinefna í óbundna burðarlaginu. Ástæðan er sú að spennur (álag) frá umferð ökutækja minnka hratt með auknu dýpi í veghlotinu og þar með minnkar niðurbrot steinefna í óbundna burðarlaginu. Einnig kemur til álita að draga úr kröfum fyrir styrk steinefna í burðarlag ef fyrirhugað er að styrkja það með sementi eða biki. Einnig má nefna að til greina kemur að gera minni kröfur til neðri hluta burðarlags en efri hluta. Kröfur til steinefna í burðarlag miðast við heildarfjölda þunga bíla á tveggja akreina vegi. Ef akreinar eru fleiri en ein í hvora átt kemur til greina að taka tillit til að álag dreifist mismunandi milli akreina og draga þar með úr kröfum til berggæða steinefna. Þó verður ávallt að tryggja að umferðarmestu vegir landsins hafi mjög gott burðarþol og að vegyfirborð þeirra haldi góðum sléttleika allan líftíma vegarins.

Það er meiri vandkvæðum bundið að sinna viðhaldi vega eftir því sem umferðin er meiri og því mikilvægt að umferðarmestu veginir séu í upphafi byggðir úr gæðaeignum. Malarslitlög þola meiri formbreytingar í burðarlagi en malbiksslitlög á vegum í hærri umferðarflokkum og steipt slitlög þola mjög litlar formbreytingar. Sú grundvallarkrafa er gerð til burðarlagsefnis að það sé frostfritt þannig að í efninu verði ekki frostlyftingar. Þetta á einnig við um malarvegi, þó að malarslitlög þoli miklar hreyfingar, enda er vegakerfið í stöðugri uppbyggingu og malarvegur í dag getur verið lagður klæðingu á morgun. Þegar malarvegir eru styrktir fyrir lögn klæðingar er malarslitlagið fyrst hreinsað af veginum en síðan er vegurinn yfirleitt styrktur með nýju

burðarlagi þannig að gamla burðarlagið gegnir eftirleiðis hlutverki styrktarlags. Af þessum ástæðum er látið nægja að gera sömu kröfur til efnisgæða burðarlaga á malarvegum og styrktarlaga samsvarandi vega sem lagðir eru klæðingu.

Íslenskur fylgistaðall um framleiðslu steinfna var gefinn út af Staðlaráði Íslands og tók gildi hérlandis árið 2013, ÍST 76⁴. Í Efnisgæðaritinu er tekið mið af íslenskum fylgistöðlum með framleiðslustöðlunum þar sem valdar hafa verið þær prófunaraðferðir sem eru taldar henta best íslenskum steinefnum og aðstæðum. Gerð er grein fyrir þeim í einstökum köflum Efnisgæðaritsins og í viðauka 4. Í fylgistaðlinum felst samkomulag milli framleiðenda og kaupenda steinfna svo og prófanastofa, t.d. hvað varðar val á prófunaraðferðum sem nota skal til mælinga á eiginleikum steinfna til mismunandi nota. Fylgistaðallinn tekur afdráttarlausa afstöðu til prófunaraðferða og eftirlitskerfa (e. AVCP). Þar kemur fram að eftirlit með framleiðslu skuli vera einungis á hendi framleiðanda steinefnis (eftirlitskerfi AVCP 4) við framleiðslu á steinefni til óbundinna nota (ÍST EN 13242). Bent skal á að í kafla 2.4 í Inngangi er fjallað nánar um stöðu evrópskra framleiðslustaðla fyrir steinefni.

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.

Í framleiðslustaðli ÍST EN 13242 er fjallað um mat og staðfesting á gæðastöðugleika steinfna – gerðarprófun og framleiðslueftirlit (e. *Assessment and Verification of the Constancy of Performance (AVCP) of aggregates – Type Testing and Factory Production Control*), sem ber að viðhafa við framleiðslu steinfna.

Verktaki skal í upphafi verks leggja fram nákvæma áætlun um gæðaeftirlit og skal eftirlitskerfi verktaka tryggja að gæði steinfna og verkgæði 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 steinfna í viðkomandi verk.

5.5.1 Kröfur til steinfna

Í framleiðslustaðli ÍST EN 13242 eru settar fram frávikskröfur vegna framleiðslu steinfna (sjá viðauka 4). Kröfurnar eru að 90% mælinga á kornadreifingu skuli liggja innan marka sem framleiðandi lýsir yfir um yfir- og undirstærðir og fínefnaflokk. Vegagerðin gerir sömu kröfur varðandi frávik þegar kröfur um kornadreifingu burðarlagsefna eru settar fram sem kröfuflokkur í samræmi við staðal ÍST EN 13242 (sjá töflur 5-8 a og 5-8 b) að 90% mælinga skuli liggja innan marka sem framleiðandi lýsir yfir. Þar að auki skulu skv. framleiðslustaðli öll gildi fyrir aðrar prófunaraðferðir vera innan þess kröfuflokks sem framleiðandi ábyrgist (e. *within the limit specified*). Vegagerðin setur einnig fram almennar frávikareglur varðandi kröfur til berggæða og ásýndar bergs, sem gera ráð fyrir að eitt gildi af hverjum fimm gildum megi víkja frá kröfugildi sem nemur allt að 10% í átt til lakari efnisgæða. Þannig mætti mest eitt sýni

⁴ Í kafla 2.4 í inngangi Efnisgæðaritsins og í viðauka 4 er fjallað um stöðuna varðandi endurskoðun ÍST 76

af fimm mælast með LA gildi 22 ef kröfuflokkurinn er LA₂₀ og hin fjögur skulu þá vera innan marka.

Markalínur Vegagerðarinnar fyrir burðarlag byggja á ákvæðum staðals ÍST EN 13285 og þar gilda frávíkskröfur um kornadreifingu, þ.e. innri og ytri markalínur, sem tilgreindar eru í kaflanum um kornadreifingu hér á eftir.

Kornadreifing

Kröfur til kornadreifingar óbundinna burðarlagsefna þar sem $d=0$ og $D=X$ (neðri og efri flokkunarstærð í mm) miðast við staðalinn ÍST EN 13285 Óbundnar blöndur – eiginleikar (e. *Unbound mixtures – Specification*). Hönnuður/verkkaupi velur stærðarflokk sem hentar viðkomandi notkun efnisins, sjá töflu 1 í staðlinum (e. *mixture designation*). Alls eru 14 stærðarflokkar í staðlinum en hér verða birtar markalínur 5 stærðarflokka sem taka mið af flokkunarkerfi staðalsins fyrir burðarlagsefni, þ.e. 0/22, 0/32, 0/45, 0/63 og 0/90. Í staðlinum eru einnig settir fram flokkar fyrir hámark og lágmark fínefna minni en 0,063 mm (sjá töflur 2 og 3 í staðlinum) og um yfirstærðir, þ.e. hversu stórt hlutfall sýnis má vera yfir efri flokkunarstærð (sjá töflu 4 í staðlinum). Þá er kornadreifingin valin með tilliti til taflna 5 og 6 í staðlinum, þar sem ytri (e. *Overall grading*) og innri (e. *Suppliers declared value*) markalínur eru settar fram á almennan hátt. Fyrirnefndu markalínurnar sýna hvar allar kornagreiningar skulu liggja, en þær síðarnefndu sýna hvar meðaltal allra kornagreininga skal liggja. Þessi stöku frávík mega þó ekki víkja bæði niður og upp fyrir innri markalínur. Það sem að ofan er talið má setja fram á einfaldan hátt eins og dæmið hér á eftir sýnir:

0/32: UF₅, LF₂, OC₈₅, G₀

þar sem:

0/32 er kornastærðarbilið d/D í mm

UF₅ þýðir að fínefni skuli að hámarki vera 5% (e. UF = Upper Fines)

LF₂ þýðir að fínefni skuli að lágmarki vera 2% (e. LF = Lower Fines)

OC₈₅ þýðir að 85 til 99% efnisins skuli smjúga 31,5 mm sigtið (efra flokkunarsigtið, e. Oversize Category)

G₀ lýsir kúrfunni í heild (e. Grading) með kornastærðarbilum á viðkomandi sigtum (markalínur)

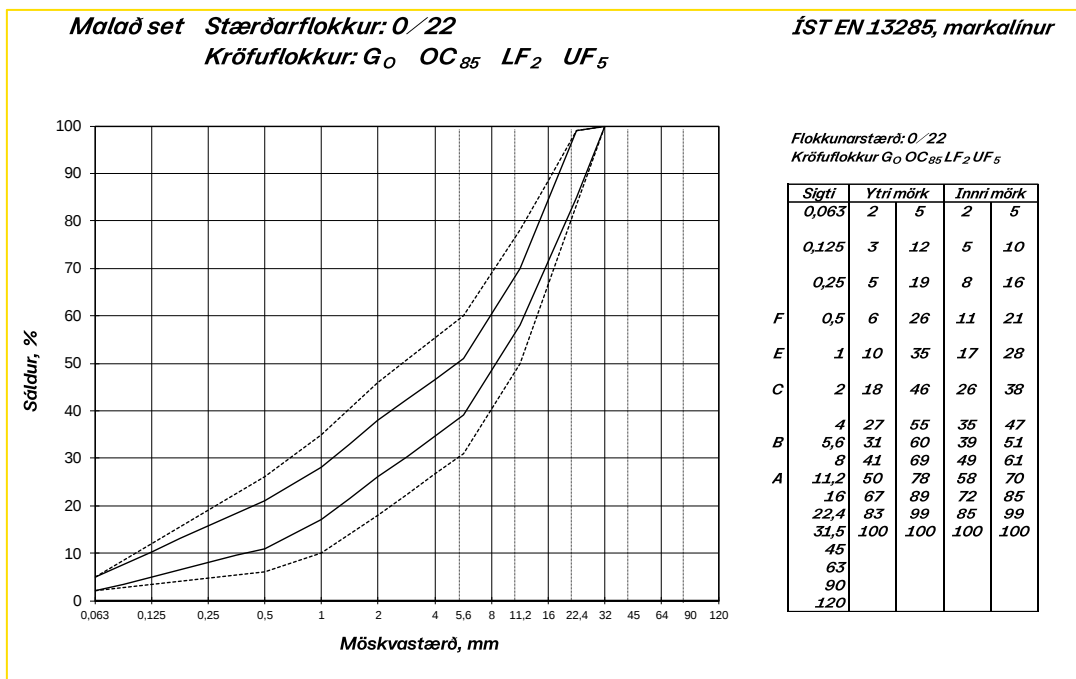
Kröfur til kornadreifingar burðarlagsefna miðast við flokk G₀ fyrir mulið set og G_P fyrir malað berg. Lágmarks magn fínefna ($< 0,063$ mm) skal vera 2%, þ.e. efnið falli í flokk LF₂ samkvæmt ÍST EN 13285, en hámarks magn fínefna skal vera 5%, þ.e. efnið falli í flokk UF₅. Ef fínefnainnihald ($\leq 0,063$ mm) sýnishluta undir 63 mm er á bilinu 5-6% (6-7% fyrir burðarlag malarvega) skal þó einnig mæla kornadreifingu fínefnis og skal hlutfall efnis $\leq 0,02$ mm vera $\leq 3\%$. Ekki eru þó gerðar kröfur um lágmark fínefna (LF_N) í þúkkmulningi undir malbiki eða steypu í stærðarflokkum 0/45 og 0/63. Kröfur um yfirstærð miðast við flokk OC₈₅ þannig að á bilinu 1 - 15% efnisins geta verið á bilinu D (efri flokkunarstærð) til $1,4 \times D$. Þessar kröfur eru miðaðar við efni í námu, en gera má ráð fyrir að fínefnainnihald sé 1 til 2% hærra í frágengnu efni í vegi.

Fínefnakröfur fyrir burðarlög malarvega eru þó LF₄ og UF₇ til að rakapéttleiki gagnvart malarslitlaginu sé tryggður en efnið þó væntanlega frostfrítt.

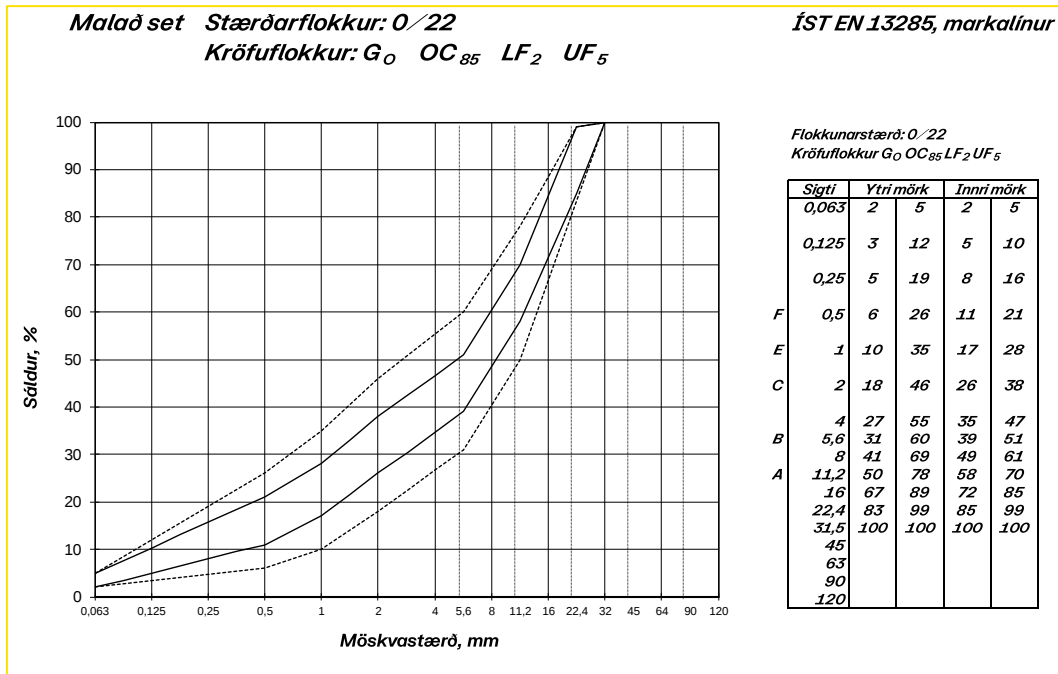
Í efri hluta burðarlags undir klæðingu skal ekki vera grófara efni en í stærðarflokki 0/32. Hafa ber þó í huga að allt að 15% efnis getur verið yfir efri flokkunarstærð og því getur í mörgum tilfellum hentað betur að velja 0/22 efni með allt að 15% á bilinu 22,4–31,5 mm (D til 1,4×D). Í neðri hluta burðarlagsins er oft grófara efni notað en í efri hlutanum, t.d. í stærðarflokkum 0/45 eða 0/63. Ef slitlagsgerðin er malbik eða steypa er efni í efri hluta burðarlagsins gjarnan í stærðarflokkum 0/32, 0/45 eða 0/63. Burðarlag undir malarslitlag getur verið af stærðarflokkum 0/32 eða 0/45.

Púkkmulningur í burðarlagi getur verið af stærðarflokkum 0/45, 0/63, eða jafnvel 0/90. ÍST EN 13242 og ÍST EN 13285 skilgreina ekki grófara efni en 0/90, en ef púkkmulningur er grófari en 0/90 er heimilt að verkkaupi skilgreini eigin markalínur. Einnig kemur til greina að styðjast við staðal ÍST EN 13242 varðandi yfirstærðir, undirstærðir og millistærðir, sbr. töflur 5-8 a) og 5-8 b).

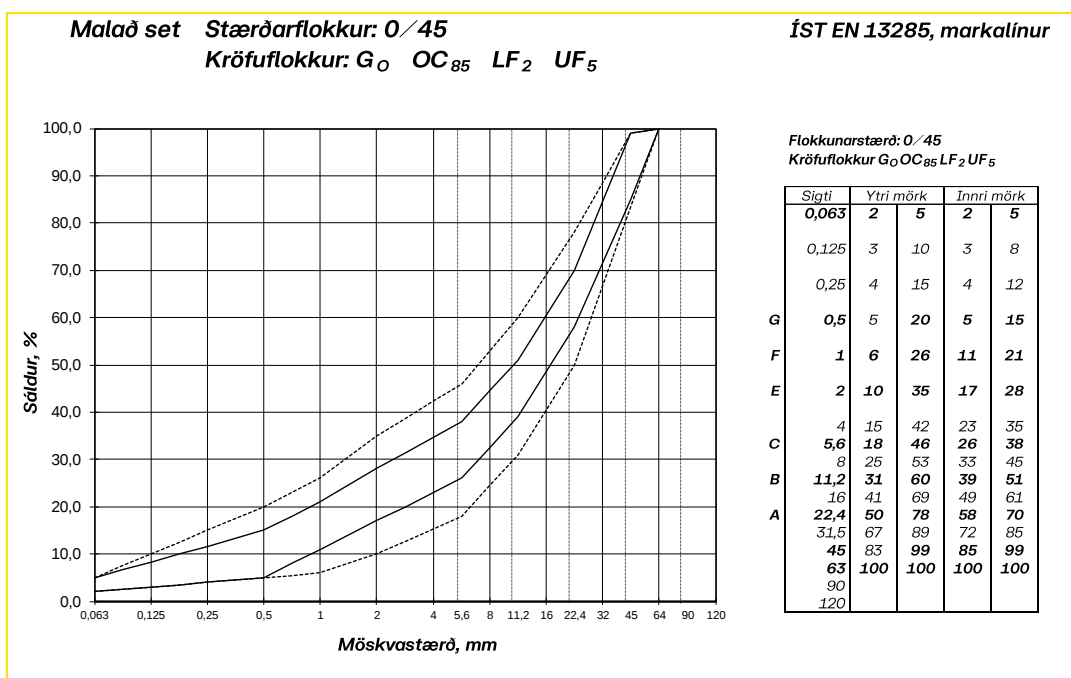
Markalínur fyrir burðarlagsefni samkvæmt áður nefndum kröfum eru sýndar á myndum 5-7 til 5-15. Á myndunum eru sýndar markalínur fyrir stærðarflokkana 0/22, 0/32, 0/45, 0/63 og 0/90. Meðaltal allra mælinga skal liggja innan við innri markalínurnar en einstakar mælingar mega liggja utan þeirra en þó skal engin kornadreifing liggja utan við ytri markalínur. Þessi stöku frávik mega þó ekki víkja bæði niður og upp fyrir innri markalínur. Markalínur fyrir burðarlag malarvega eru sýndar á myndum 5-16 til 5-19 og á myndum 5-20 til 5-23 eru sýndar leiðbeinandi markalínur fyrir bikbundin burðarlög blönduð í námu. Í töflum til hliðar við myndirnar eru sýnd tölugildi kornadreifingar og eru sýndar sáldurtölur samkvæmt staðlinum ÍST EN 13285 (sigti A, B, C, E, F og G á myndunum) en einnig millitölur á völdum sigtum. Aðrar millitölur eru reiknaðar til að hægt sé að teikna samfellda kornadreifingu. Staðallinn skilgreinir því einungis sáldurgildi fyrir flokkana A–G sem gilda fyrir mismunandi möskvastærðir háð grófleika efnisins, en markalínur með öllum sigtum eru ekki dregnar upp í staðlinum.



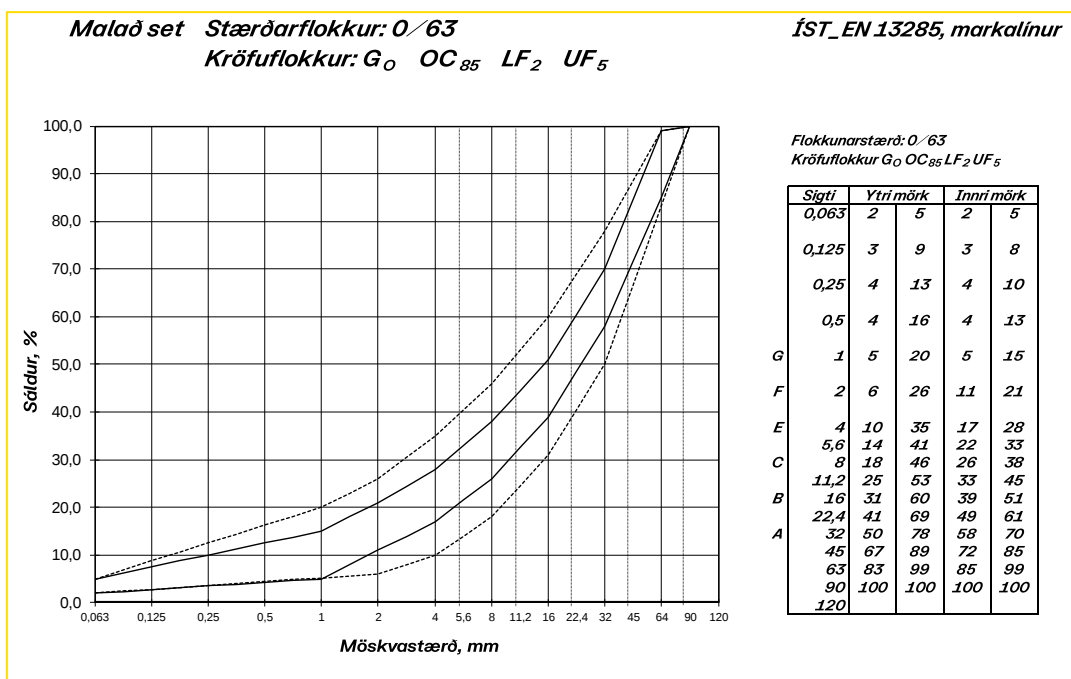
Mynd 5-7:
Markalínur fyrir malað 22 mm set í burðarlag



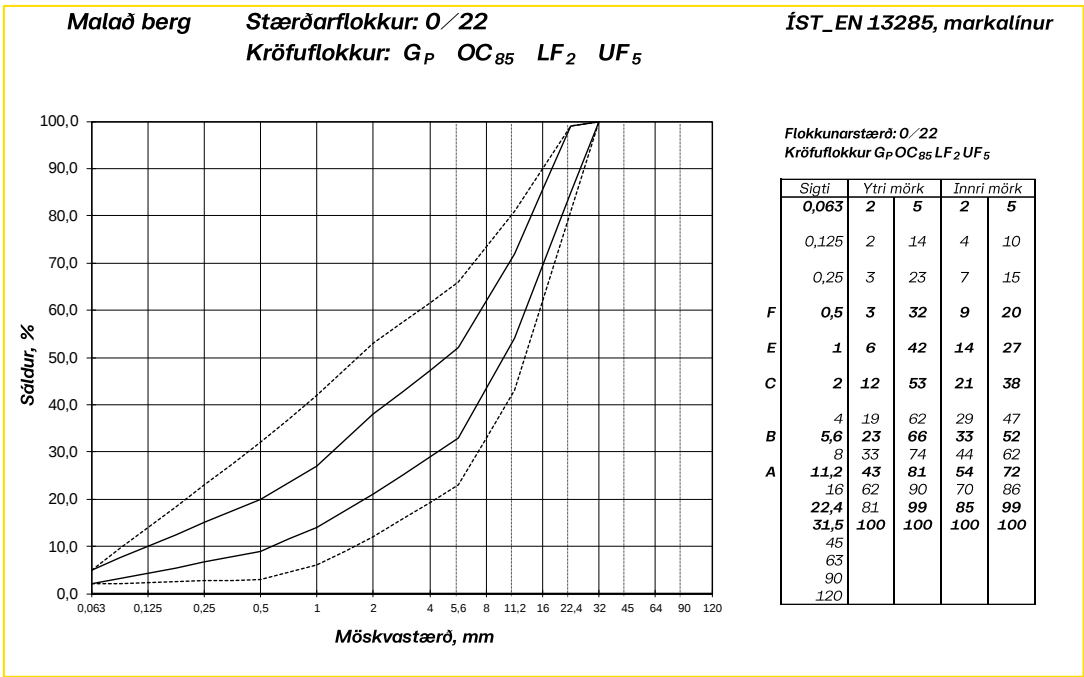
Mynd 5-8:
Markalínur fyrir malað 32 mm set í burðarlag



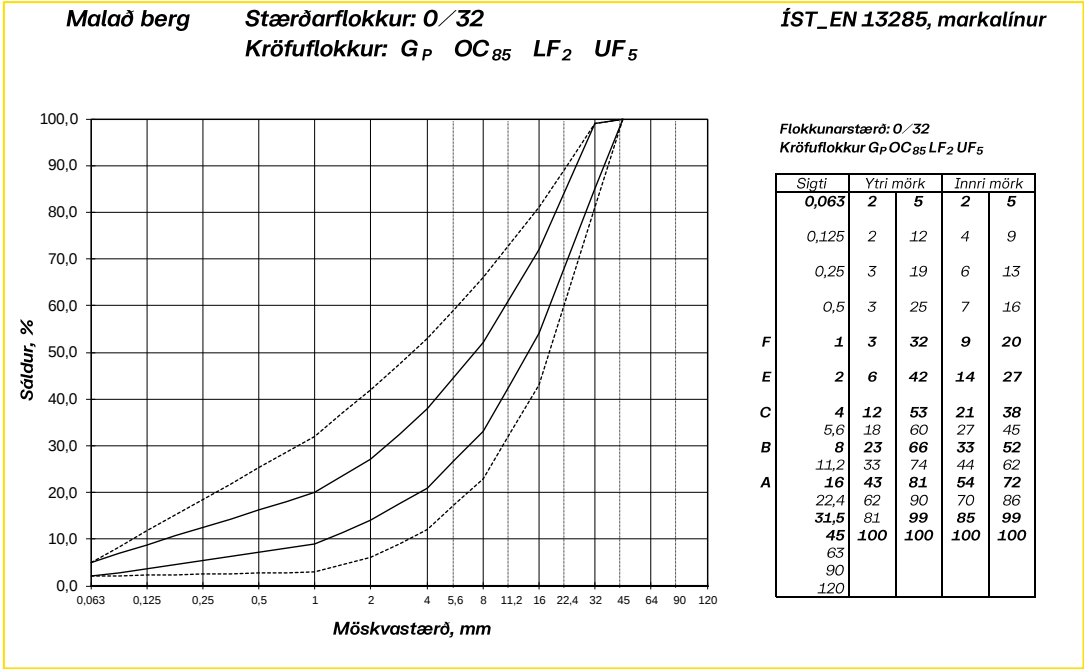
Mynd 5-9:
Markalínur fyrir malað 45 mm set í burðarlag



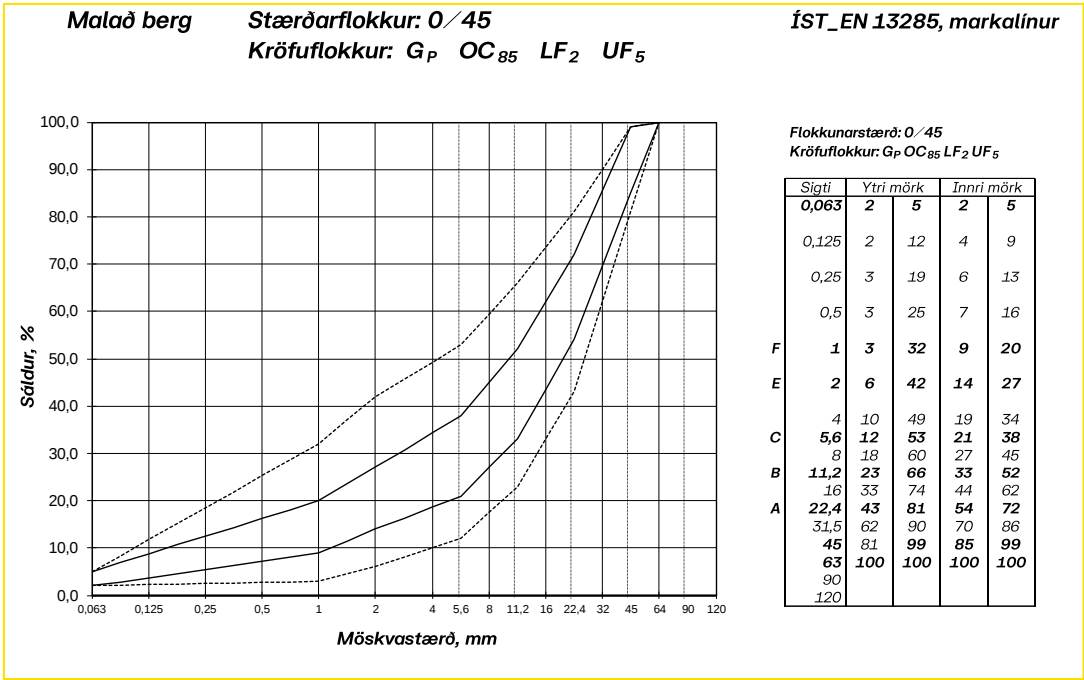
Mynd 5-10:
Markalínur fyrir malað 63 mm set í burðarlag



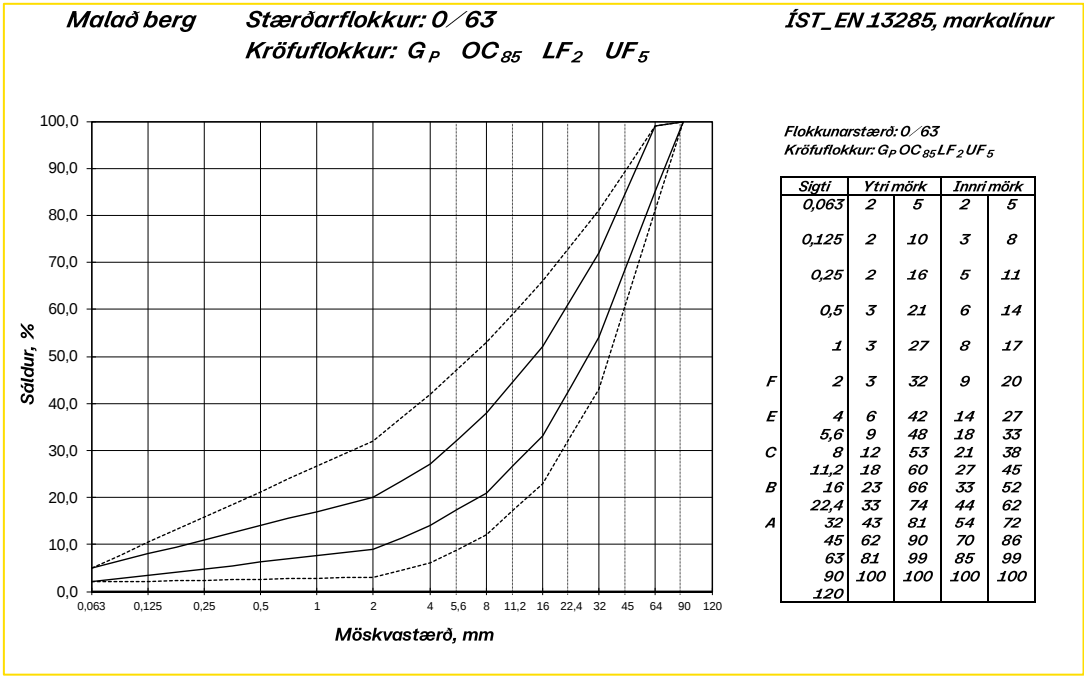
Mynd 5-11:
Markalínur fyrir malað 22 mm berg í burðarlag



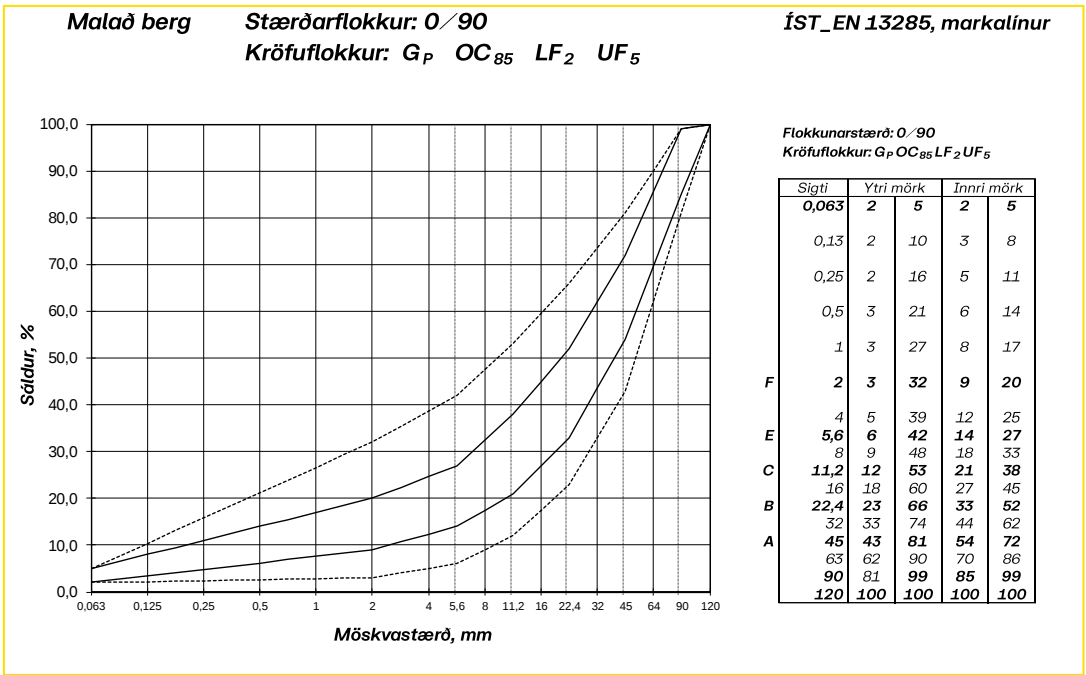
Mynd 5-12:
Markalínur fyrir malað 32 mm berg í burðarlag



Mynd 5-13:
Markalínur fyrir malað 45 mm berg í burðarlag

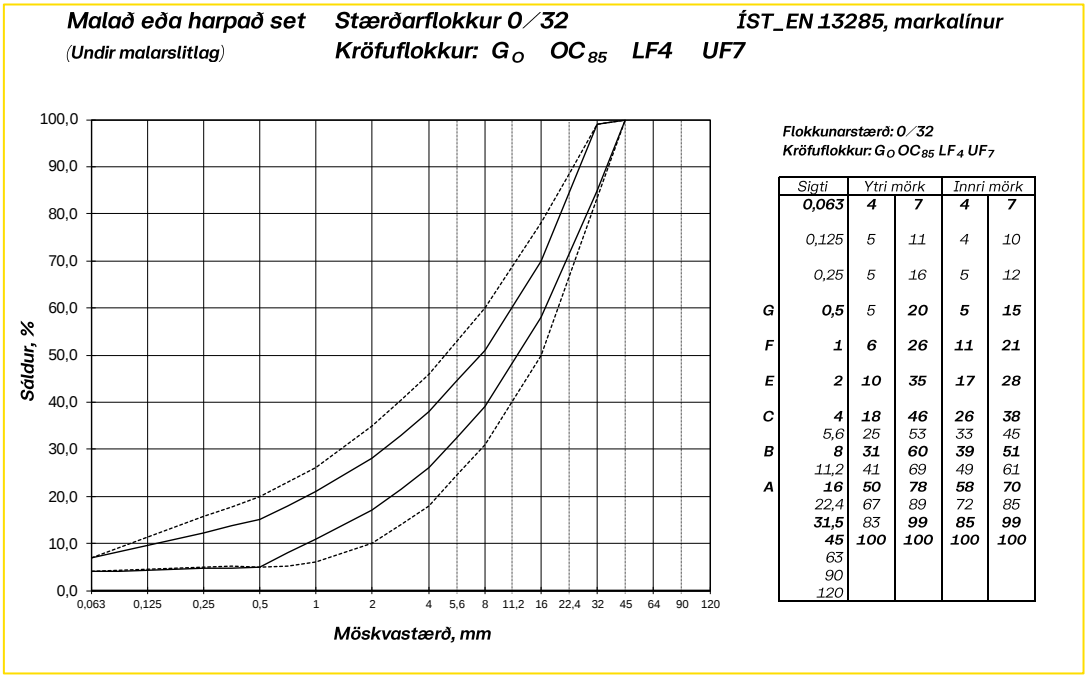


Mynd 5-14:
Markalínur fyrir malað 63 mm berg og púkk í burðarlag

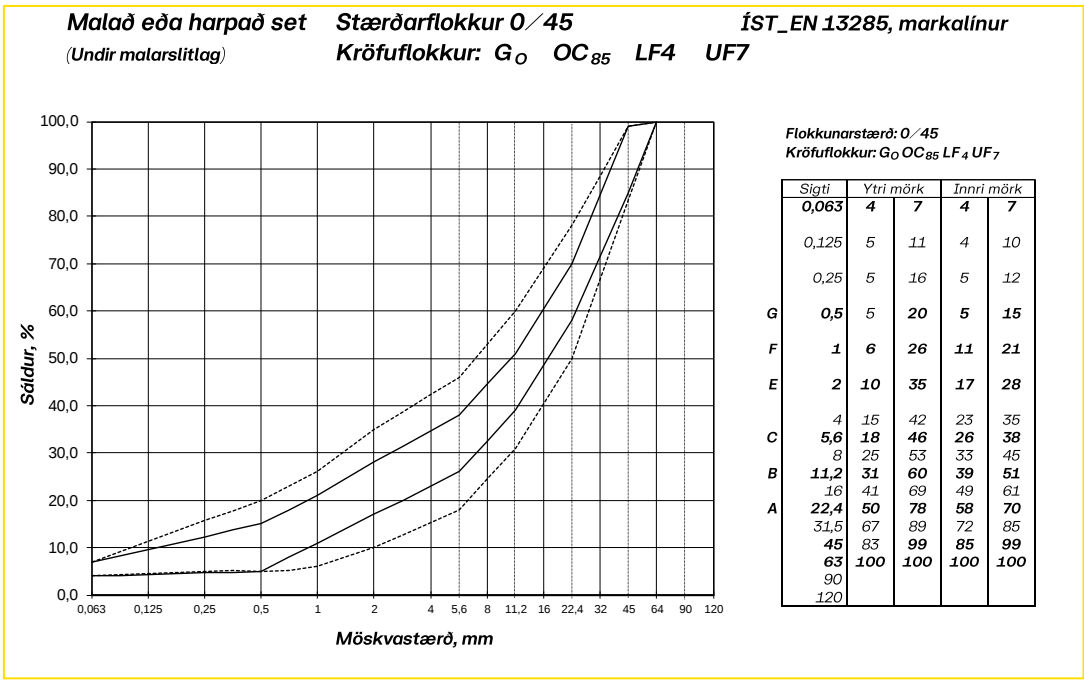


Mynd 5-15:
Markalínur fyrir malað 90 mm berg og púkk í burðarlag

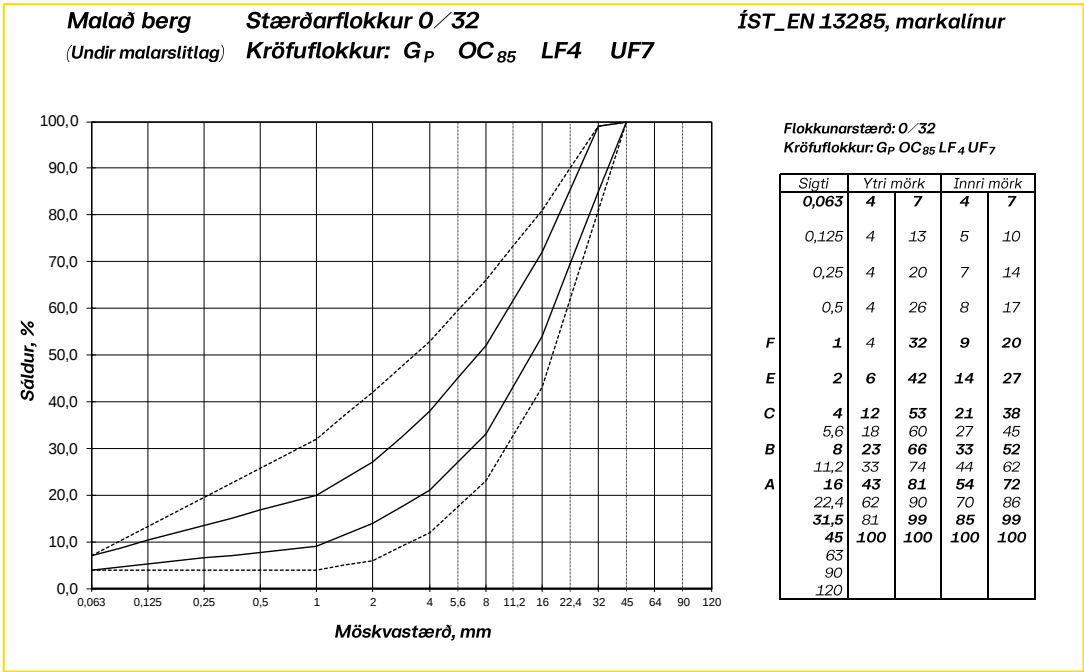
Á myndum 5-16 til 5-19 eru sýndar markalínur fyrir burðarlag sem ætlað er til nota undir malarslittlag.



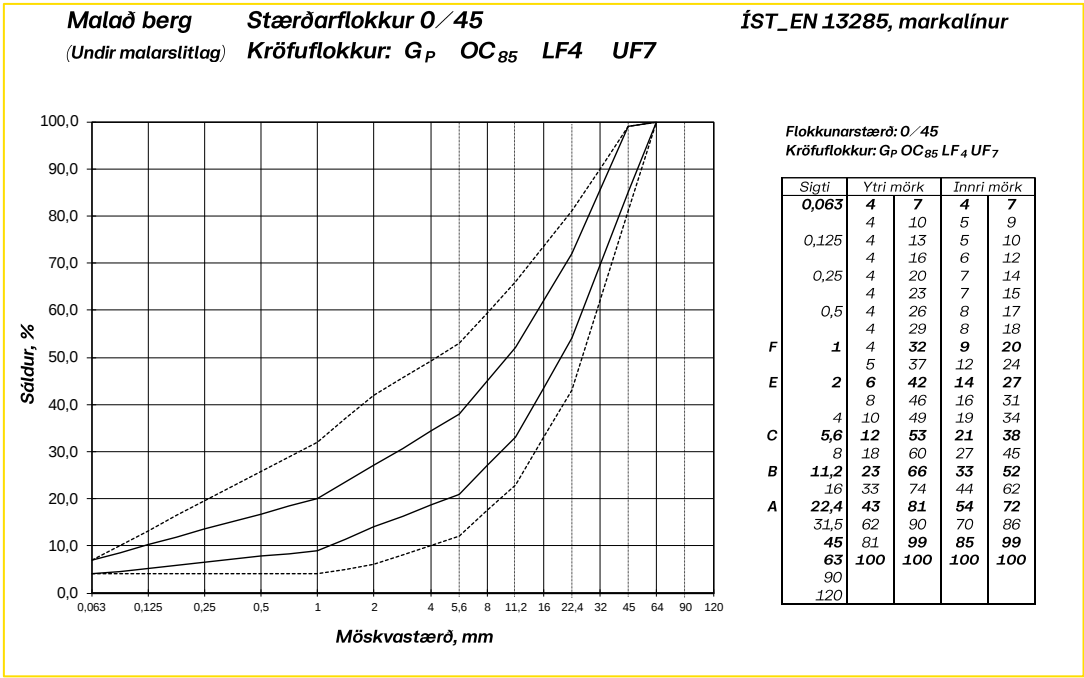
Mynd 5-16:
Markalínur fyrir 32 mm malað eða harpað set í burðarlag malarvega



Mynd 5-17:
Markalínur fyrir 45 mm malað eða harpað set í burðarlag malarvega

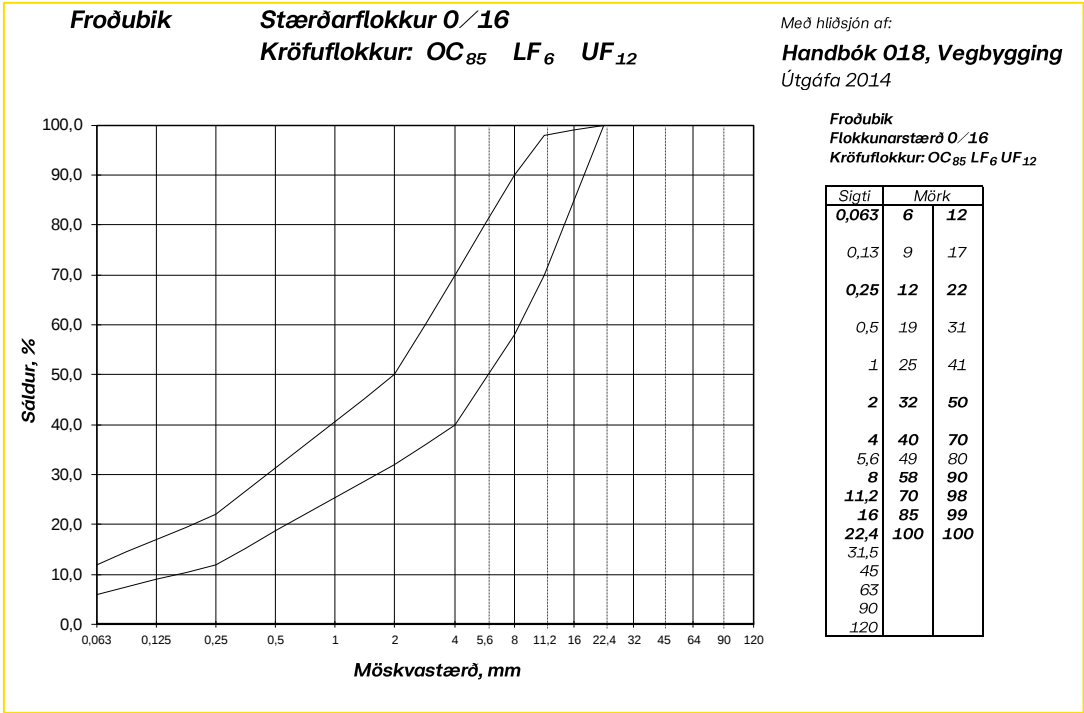


Mynd 5-18:
Markalínur fyrir 32 mm malað berg í burðarlag malarvega

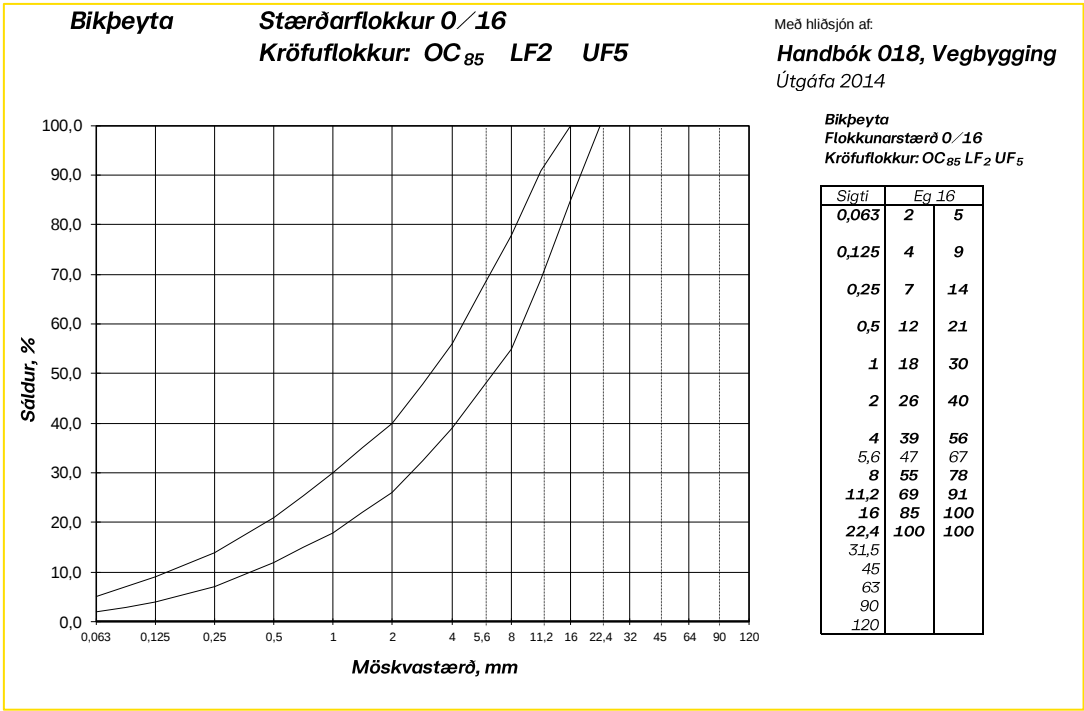


Mynd 5-19:
Markalínur fyrir 45 mm malað berg í burðarlag malarvega

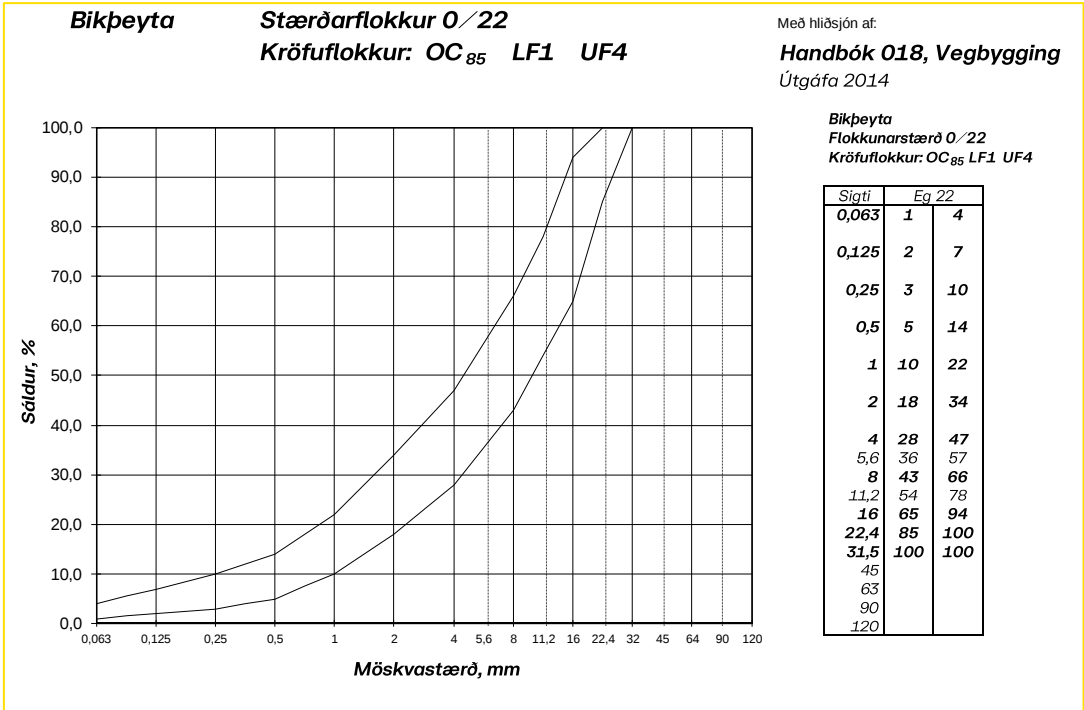
Á myndum 5-20 til 5-23 eru sýndar leiðbeinandi markalínur fyrir bikbundin burðarlög blönduð í námu, byggt á handbók N200 norsku vegagerðarinnar. Víkja má frá þessum leiðbeinandi mörkum, ef blandan stenst kröfur um kleyfnistyrk. Til að aðlaga markalínur handbókar N200 að framsetningu Evrópustaðla hefur efri markalínum verið breytt þannig að a.m.k. 1% efnis sitji á sigti efri flokkunarstærðar.



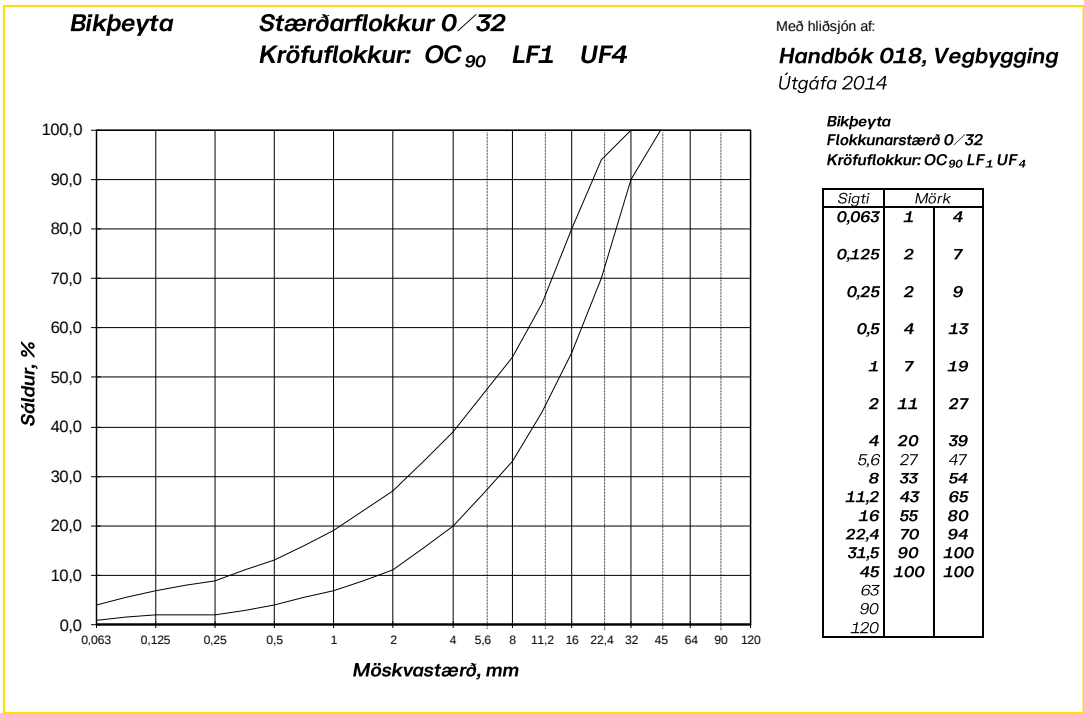
Mynd 5-20:
Markalínur steinefnis (leiðbeinandi), fyrir froðumalbik blandað í námu



Mynd 5-21:
Markalínur fyrir 16 mm steinefni (leiðbeinandi), fyrir bikþeytumalbik blandað í námu

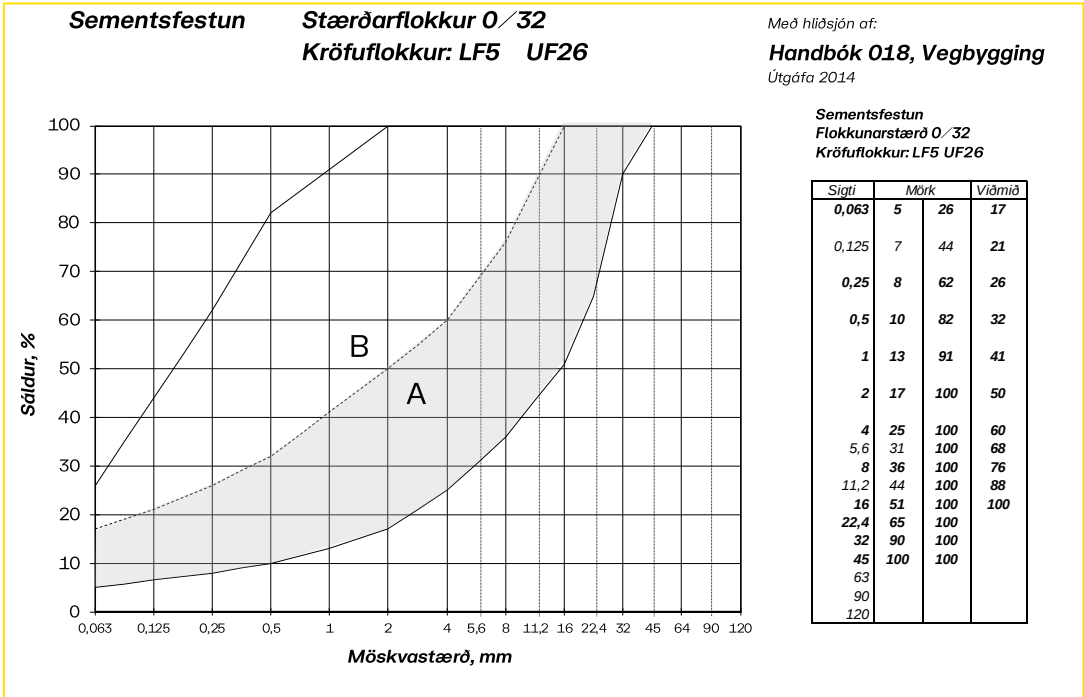


Mynd 5-22:
Markalínur fyrir 22 mm steinefni (leiðbeinandi), fyrir bikþeytumalbik blandað í námu



Mynd 5-23:
Markalínur fyrir 32 mm steinefni (leiðbeinandi), fyrir bikpeytumalbik blandað í námu

Viðmiðun fyrir kornadreifingu efnis í sementsfest burðarlög eru sýnd á mynd 5-24. Efni innan svæðis merkt A, er heppilegast fyrir umferðarmikla vegi, en einnig er hægt að festa efni sem lendir á svæði B, en þá þarf meira sementsmagn.



Mynd 5-24:
Markalínur steinefnis fyrir sementsfest burðarlög

Aðrar kröfur til sementsfesta burðarlaga en kornadreifing eru vatns/ sements-tala og þrýstistyrkur kjarna, auk þjöppunarkrafna, sjá töflu 5-7. Auk þess má styðjast við kröfur til sýna sem tekin eru úr vegi sem gefnar eru upp í töflu 523.18 í Vegbygging N200 frá árinu 2014.

Tafla 5-7

Kröfur til sementsfesta burðarlaga

Eiginleikar efnis	Kröfur	Vikmörk ⁴⁾	Mesta frávik
Kornadreifing	Skv. hönnunarforskrift	20%	¹⁾
Vatns/ sements-tala	0,8-1,0	20%	0,2%
Þrýstistyrkur eftir 7 daga ²⁾	5 Mpa	20%	0,8 MPa
Þjöppun	Sbr. Modified Proctor ³⁾	-	-

¹⁾ Frávik tilgreind í hönnunarforskrift²⁾ Sýni útbúin og þjöppuð með Kango hamri³⁾ Þjöppun ræðst af rúmpýngd úr Modified Proctor prófi⁴⁾ Hámarksfjöldi prófa sem lenda utan krafna (samsvarar 1 af hverjum 5 sýnum)

Við hönnun á sementsfestu burðarlagi þarf að gera prófblöndur með því steinefni sem á að festa hverju sinni til að ákvarða sementsmagn. Sementsfestun hér á landi er yfirleitt aðgerð til að styrkja eldra burðarlag. Einnig kemur til greina að sementsbinda nýtt burðarlag.

Hér á eftir eru sett fram ákvæði um undir- og yfirstærðir kornadreifingar fyrir óbundið burðarlag sem koma til álita þegar ekki er valið að gera kröfur samkvæmt markalínunum, t.d. þegar nota skal púkk í burðarlag.

Í staðli ÍST EN 13242 eru settar fram kröfur um leyfilegar undir- og yfirstærðir flokkaðs efnis og óflokkaðs efnis, sjá töflu 5-8 a). Í töflunni stendur d fyrir neðri flokkunarstærð og D fyrir efri flokkunarstærð, t.d. 16/45 (d/D) í mm. Tveir valkostir eru fyrir undir- og yfirstærðir í flokkuðu efni, til dæmis kröfuflokkur GC 85/15 þar sem GC 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, 1,4×D og 2×D.

Fyrir óflokkað efni þ.e.a.s. 0/X efni þar sem d = 0 (t.d. 0/63) má velja milli þriggja kröfuflokka G_A úr töflu 5-8 a) um yfirstærðir þar sem GA X táknar að minnst X% eiga að smjúga sigti efri flokkunarstærðar, auk samsvarandi ákvæða um 1,4×D og 2×D, en þar sem neðri flokkunarstærð er 0 eru engir kröfuflokkar um undirstærðir.

Tafla 5-8 a):

Kröfuflokkar með leyfilegum yfir- og undirstærðum samkvæmt staðli ÍST EN 13242

Gerð steinefnis	Stærð, mm	Sáldur, % af þyngd					Kröfuflokkur G
		2xD ^a	1,4xD	D ^b	d ^c	d/2	
Flokkað efni* D > 4 d ≥ 1		100	98-100	85-99 ^b	0-15	0-5	G _C 85/15
		100	98-100	80-99	0-20	0-5	G _C 80/20
Óflokkað efni* D > 4 d = 0		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 2xD, þar sem sigtaröð ISO 565/R20 takmarkast að ofan við 125 mm sigti. Ákvæðið varðandi 1,4xD gildir hins vegar.

^b Ef hlutfallið D/d er minna en 2 (flokkað efni) og kröfuflokkurinn er G_C 85/15 má minnka hlutfallið sem smýgur 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 5-8 a) má taka flokkað efni 22/63, þ.e. d = 22 mm og D = 125 mm. Ef valinn er kröfuflokkur G_C 85/15 mega 0 – 15% af efninu smjúga 22 mm sigti (d) og 85 – 99% af efninu skal smjúga 63 mm sigti (D). Þannig verður að lágmarki 1% af efninu að sitja á 63 mm sigtinu sem er mikilvægt til að tryggja að efnið nái þeirri efri flokkunarstærð (þ.e. D = 63). Samkvæmt kröfuflokki G_C 85/15 mega 0 – 5% af efninu smjúga 11 mm sigti (d/2 = 11) og 98 – 100% verða að smjúga 90 mm sigti (1,4xD = 90). Að lokum verður allt efnið að smjúga 125 mm sigti (2xD = 125).

Sem dæmi um óflokkað efni má taka flokkunarstærðir 0/90, þ.e. d = 0 og D = 90 mm. 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 (1,4xD = 125). Að lokum verður allt efnið að smjúga 180 mm sigti (2xD = 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 5-8 b). Sem dæmi má taka að fyrir flokkað efni 22/63 (D/d < 4), má á bilinu 20-70% af efninu smjúga 45 mm sigti (D/1,4) ef neðri valkosturinn er valinn.

Tafla 5-8 b)

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 burðarlag 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 framleiðslustaðli ÍST EN 13242.

Þjálni

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

ATH: Heimilt er að gera kröfu um þjálnipróf samkvæmt staðli ÍST EN 13285 Unbound mixtures – Specifications.

Stærðargreining fínefna

Almennt er krafa um að fínefni minna en 0,063 mm sé undir 5% (7% fyrir burðarlög malarvega). Hins vegar má nota efnið þó að fínefnið sé á bilinu 5-6% (7%) ef þyngdarhluti sýnis undir 0,02 mm er minni en 3% miðað við stærðarflokk 0/22 mm). Stærðargreining fínefna er gerð með flotvog (e. hydrometer) eða lasertæki.

ATH: Heimilt er að gera kröfu um slíkt próf til að meta frostnæmi efna samkvæmt staðli ÍST EN 13285 Unbound mixtures – Specifications.

Berggreining

Leiðbeinandi kröfur um leyfilegt magn steinefna í 3. gæðaflokki fyrir burðarlag eru sýndar í töflu 5-9. Kröfurnar miðast við að greint sé sýni af 5,6-11,2 mm steinefni.

Tafla 5-9:
Leiðbeinandi kröfur um leyfilegt magn steinefna í gæðaflokkum við berggreiningu

	Kröfur	
Fjöldi þunga ökutækja	Mjög ummyndað efni	Ferskt, efni
ÁDU _p	% í 3. flokki	% í 3. flokki
≥ 400	≤ 7	≤ 12
≥ 100	≤ 10	≤ 20
≥ 10	≤ 15 (20)	≤ 30 (35)
< 10	≤ 15 (25)	≤ 30 (40)

* Miðað er við að meirihluti þess efnis sem lendir í 3. gæðaflokki sé af viðkomandi berggerð. Kröfur innan sviga gilda fyrir burðarlag vega með malarslitlagi.

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 samkvæmt kerfinu. Þar sem ummynduð bergbrigði eru talin mun óæskilegri fyrir burðarlög en fersk, eru gerðar rýmri 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 fyrir burðarlag.

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

ATH: 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. Í viðauka 10 er íslenska berggreiningarkerfið skjalfest.

Frostpolspróf

Kröfur til niðurstaðna frostpolsprófs fyrir steinefni í burðarlög koma fram í töflu 5-10. Kröfurnar eru miðaðar við sýni af 8-16 mm steinefni og miðast við að prófið sé gert samkvæmt ÍST EN 1367-6 (frostpolspróf í saltlausn).

Tafla 5-10:
Kröfur til niðurstöðu frostpolsprófs fyrir steinefni í burðarlög

Fjöldi þunga ökutækja	Niðurbrot, % Flokkun skv. ÍST EN 13242
ÁDU _p	Frostpolsgildi, %
≥ 400	F _{EC} 8
≥ 100	F _{EC} 14
≥ 10	F _{EC} 14
< 10	F _{EC} 25

EC í F_{EC} stendur fyrir „extreme conditions“

Gera skal frostpolspróf ef 3. flokks efni samkvæmt berggreiningu er að mestu mjög ummyndað basalt og stenst ekki leiðbeinandi gæðaflokkun fyrir viðkomandi umferðarflokk.

Brothlutfall

Kröfur til niðurstaðna mælinga á brothlutfalli steinefnis í burðarlag koma fram í töflu 5-11. Prófið er gert á flokkuðu sýni samkvæmt staðli ÍST EN 933-5. Steinefni sem fengin eru úr sprengdu bergi teljast uppfylla kröfuflokk C100/0 og þarfnast ekki prófunar á brothlutfalli samkvæmt framleiðslustaðli ÍST EN 13242.

Tafla 5-11:
Kröfur til niðurstöðu mælinga á brothlutfalli steinefna í burðarlög

Fjöldi þunga ökutækja	Malað set Flokkun skv. ÍST EN 13242	Malað harpað grjót** Flokkun skv. ÍST EN 13242
ÁDU _p	Brothlutfall	Brothlutfall
≥ 400	C _{50/10*}	C _{90/3}
≥ 100	C _{50/10*}	C _{90/3}
≥ 10	C _{50/30}	C _{50/10*}
< 10	C _{Ekki krafa/50}	C _{50/10*}

*Hér er að auki gerð krafa um að 30 til 100% þess efnis sem flokkast brotið sé albrotið.
**Ef krafist er hærra brothlutfalls en næst beint við vinnslu úr möluðu seti getur þurft að harpa grjótið frá og mala það svo.

Í töflunni merkir C_{x/y} að ≥ X% efnisins á að vera brotið, en ≤ Y% má vera alnúið. Steinefnakorn telst vera brotið ef minnst helmingur yfirborðs kornsins er brotið. Ekki er gerð krafa um brothlutfall fyrir burðarlag vega með malarslitlagi.

Kornalögun

Kröfur til kornalögunar steinefna í burðarlög koma fram í töflu 5-12. Prófið er gert skv. staðli ÍST EN 933-3, en staðallinn gerir ráð fyrir að lögun sé mæld á stærðarflokkum frá 4 mm upp í 80 mm. Hérlandis hefur þó gjarnan verið miðað við að mæla stærðarflokka frá 4 mm upp í 31,5 mm, þótt um grófara efni sé að ræða. Æskilegra væri að mæla lögun alls efnisins frá 4 mm og upp í raunstærð, t.d. er algengt að nota stærðarflokk 0/63 mm í neðri hluta burðarlags.

Tafla 5-12:
Kröfur til kornalögunar steinefna í burðarlag

Fjöldi þungra ökutækja	Flokkun samkvæmt staðli ÍST EN 13242
ÁDU _p	Kleyfnistuðull
≥ 400	FI ₂₀
≥ 100	FI ₂₅
≥ 10	FI ₃₀
< 10	FI ₃₅

Í töflunni þýðir FI_x að kleyfnistuðullinn (flakiness index) skuli að hámarki vera X%. Engar kröfur eru gerðar um kornalögun fyrir burðarlag vega með malarslitlagi.

Styrkleikapróf

Kröfur til niðurstöðu styrkleikaprófs á steinefni í burðarlag koma fram í töflu 5-13. Miðað er við að 10 -14 mm steinefni sé prófað samkvæmt staðli ÍST EN 1097-2.

Tafla 5-13:
Kröfur til styrkleika steinefna í burðarlag

	LA flokkun skv. ÍST EN 13242	
Fjöldi þungra ökutækja	Ef 3. flokks efni skv. berggr. er mjög ummyndað	Ef 3. flokks efni skv. berggr. er ferskt
ÁDU _p	LA gildi	LA gildi
≥ 400	LA ₂₀	LA ₂₅
≥ 100	LA ₂₀	LA ₃₀
≥ 10	LA ₂₅ (30)	LA ₃₅ (40)
< 10	LA ₃₀ (35)	LA ₄₀ (50)

Kröfur innan sviga gilda fyrir burðarlag vega með malarslitlagi.
Í töflunni þýðir LA_x að LA-stuðullinn skuli að hámarki vera X%.

Við mat á styrkleika steinefna hérlandis hefur svokallaður Bg-stuðull einnig verið mældur, þar sem efni með samsetta lokaða kornakúrfu er prófað. Sú aðferð er þó ekki til sem Evrópustaðall, en miða má við kröfur í töflu 5-14 ef valið er að nota þá aðferð til viðbótar eða í staðinn fyrir LA prófið, t.d. við framleiðslueftirlit. Í kafla 5.2.2 er umfjöllun um það hvenær ráðlegt er að velja Bg próf til viðmiðunar við LA próf.

Tafla 5-14:

Kröfur til styrkleika steinefna í burðarlag

Fjöldi þunga ökutækja	Ef 3. flokks efni skv. berggr. er mjög ummyndað	Ef 3. flokks efni skv. berggr. er ferskt
ÁDU _p	Bg stuðull	Bg stuðull
≥ 400	≤ 8	≤ 10
≥ 100	≤ 8	≤ 11
≥ 10	≤ 10 (12)	≤ 14 (16)
< 10	≤ 12 (14)	≤ 16 (20)

Kröfur innan sviga gilda fyrir burðarlag vega með malarslitalagi.

5.5.2 Kröfur til efnismassa

Proctorpróf

Rúmpýngdarmælingar úr proctorprófi má nota sem mælikvarða á þjöppun, með því að bera þær saman við rúmpýngdir mældar með geislaðmælingu, rafsegulmælingu eða sandkeilu aðferð. Þessar mælingar henta þó ekki á grófkorna efni, þannig að notkunin takmarkast við að efnið í burðarlaginu sé með hámarks-kornastærð milli 25 og 30 mm. Ef miðað er við proctorpróf telst efnið nægilega þjappað þegar þurr rúmpýngd þess er hærri en rúmpýngd sem tilsvavar 98% af hæstu rúmpýngd 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 skuli þjappa burðarlagið. Er þá miðað við lægra gildið af tveimur, hagstæðasta rakastiginu (W_{ob}t), sem er það rakastig sem gefur hæsta þurra rúmpýngd við proctorþjöppun, eða rakastig sem er þremur prósentum lægra en metunarrakinn samkvæmt proctorprófinu (W_{mett}að-3%). Æskilegt er að þessar niðurstöður liggi fyrir við hönnun.

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

CBR-próf

Efni má nota í burðarlag þó kornakúrfa þess sé ekki innan marka, ef CBR-gildi á mettuðu sýni mælist við þurra rúmpýngd sem svarar til 98% af hæstu þurru rúmpýngd við Modified-Proctor þjöppun samkvæmt töflu 5-15.

Tafla 5-15:

Kröfur til CBR gilda efnis í burðarlag vega

Fjöldi þunga ökutækja, ÁDU _p	CBR (Standard Proctor)	CBR (Modified Proctor)
≥ 400	> 80	> 110
≥ 100	> 75	> 100
≥ 10	> 70	> 100
< 10	> 65	> 85

Í norsku handbókinni N200, útgáfa 2014 bls. 271, er gerð lágmarks krafa um CBR gildi (Modified Proctor) 100 og ef ÁDU er meiri en 1500 þá CBR 110. Þessi CBR ákvæði hafa verið tekin út úr 2018 útgáfu handbókar N200.

Þó efnið sé of gróft fyrir CBR-próf (meira en 30% grófara en 22,4 mm) má heimila notkun þess ef finni 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. Engar kröfur eru gerðar til CBR gildis fyrir burðarlag vega með malarslitlagi.

Plötupróf í stórum stálhólki

Ef ákveðið hefur verið að meta hvort efni er hæft í burðarlag, með því að gera plötupróf í stórum stálhólki, er krafan sú að E2 sé hærra en 220 MPa. Ekki eru gerðar kröfur um E gildi fyrir burðarlag vega með malarslitlagi.

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

Kleyfnistyrkur bikbundinna efna

Við hönnun skal miða við að kleyfnistyrkur bikbundinna efna sé ≥ 100 kPa. Það samsvarar álagsdreifingarstuðli $a=1,75$, samkvæmt norska vegstaðlinum þegar hannað er samkvæmt aðferð 1. Breyta má út af þessum kröfum í sérstökum tilvikum og jafnframt má nota niðurstöðurnar á annan hátt, til dæmis ef hannað er samkvæmt aðferð 2 í norska staðlinum má reikna álagsdreifingarstuðulinn út frá líkingunni:

$$a = 0,38 * \sqrt[3]{p}$$

þar sem p er kleyfnistyrkur við 25 °C.

Þetta próf er ekki gert samkvæmt Evrópustaðli

Þrýstistyrkur sementsbundinna efna

Brotþol sementsbundins burðarlagsefnis skal vera 5 MPa eftir 7 daga, fyrir sívalning 150 mm í þvermál og 150 mm að hæð. Ákvæði um frávik eru í töflu 5-7.

5.5.3 Kröfur við framkvæmd

Burðarlag skal leggja út í rétta lagþykkt með þúkkdreifara og að útlögn lokinni á yfirborðið að standast kröfur sem gefnar eru upp í töflu 5-16. Við útlögn þarf að halda aðskilnaði kornastærða í skefjum eins og kostur er og því er mikilvægt að halda efninu hæfilega röku allan verktímann. Við útlögn burðarlagsins skal byrja fjærst efnishaugum hverju sinni til að halda vinnuumferð í lágmarki á efra burðarlaginu. Haga skal vinnu við útlögn burðarlags þannig, að ekki berist skaðleg efni eins og leir og mold inn á burðarlagið.

Ef notað er þúkk eða flokkað efni í burðarlag þarf að jafna yfirborðið og ef skortur er á millistærðum í efninu getur þurft að kíla það með fínna efni. Ef aðskilnaður kemur í ljós í útlögðu burðarlagi úr sprengdu og muldu bergi og lagið er laust við flekki með of miklu finefni, má lagfæra gróf hreiður með því að strá í þau þunnu lagi af meðalgrófum sandi sem síðan er titraður niður á milli. Að öðrum kosti þarf að blanda efninu saman og leggja út að nýju. Efnið sem notað er til afréttingar þarf að uppfylla kröfur til burðarlags. Gæta verður þess að magn kílingarefnis sé hæfilegt þannig að ekki verði eftir á yfirborði umframmagn af fingerðu efni eftir völtun.

Burðarlag skal þjappað við rakastig sem tryggir góða þjöppun samkvæmt Modified Proctor prófi í samræmi við kröfur sem eru tilgreindar í kafla 5.5.2.

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

Útlögn slitlagslags má ekki hefjast fyrr en gerð burðarlags 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.

Valtar skulu vera með tölvubúnað sem tengdur er við GPS staðsetningarbúnað þegar umferðir valta eru taldar. Slíkur búnaður tryggir að allt yfirborð vegarins hafi verið þjappað með fullnægjandi hætti. Valtar skulu einnig vera með þjöppunarmæli. Hraði valta skal vera á bilinu 3 til 5 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
- fjöldi yfirferða.

Tafla 5-3 í kafla 5.4.3 sýnir lágmarksfjölda umferða mismunandi valta miðað við lagþykkt. Mikilvægt er að vanda völtun sérstaklega vel á ferskum blöðróttum basalt steinefnum, ekki síst púkki, sem mælast með há gildi í LA prófi og hafa því tiltölulega lágan styrk. Ástæðan er sú að mikilvægt er að ná fram sem mestu af niðurbroti þessara efna á framkvæmdatíma og aukin þjöppun (þökkun) dregur úr líkum á niðurbroti og þar með færslum í burðarlaginu eftir að umferð hefur verið hleypt á veginn.

Viðmiðunargildi *þjöppumælis á valta* skal ákveða út frá niðurstöðum plötuprófsmælinga við upphaf verks og skal miða við E2 og gildin fyrir hlutfall E gilda í töflu 5-15. Framkvæma skal plötupróf á veikustu punktum hvers kafla vegarins sem hefur einsleita efnisgerð og undirstöðu. Endurtaka skal mælingu á tilraunalögn á minnst 2 mánaða fresti eða eftir hverja 15.000 m² sem unnir hafa verið. Halda skal skrá yfir lokapjöppun þar sem er skráð stöð og hvaða lag er valtað. Þjöppun telst fullnægjandi ef $5\% \pm 1\%$ viðbótarþjöppun mælist milli síðustu yfirferða valta á yfirborði burðarlags. 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 tilraunapjöppunina.

Ef ekki er hægt að gera tilraunapjöppun, má miða við reglur um val á valta, lagþykktir og meta fjölda yfirferða út frá niðurstöðum mælisins. Þá er miðað við að hægt sé að hætta ef munur milli umferða er innan við 5% en leyft frávik er +1%.

Við athugun á niðurstöðum *plötuprófa* eru annars vegar gerðar kröfur um lágmark fyrir gildi E2 og hins vegar kröfur um að hlutfallið $E2/E1$ sé ekki of hátt. Fyrri krafan er gerð til að tryggja að nægilegt burðarþol hafi náðst við þjöppunina, en hin síðari til að tryggja að þjöppun sé nægileg. Nauðsynlegt er að hafa báðar þessar kröfur saman, því fyrir getur komið, til dæmis ef vegur er byggður á mýri, að hlutfallið sé lágt og þjöppun þannig góð en E2 sé líka lágt og burðarþolið því ekki nægilegt. Rétt er að taka 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 burðarlaginu. Réttara er að skoða þau sem nokkurs konar „mótstöðustuðla“, sem gefa hugmynd um burðarþol út frá reynslu. Krafan er að niðurstöður plötuprófa skuli ná gildinu $E2 \geq 150 \text{ MPa}$. Krafa um hlutfall E-gilda kemur fram í töflu 5-16.

Tafla 5-16:
Niðurstöður plötuprófa, kröfur til E2 gildis og hlutfalls E-gilda úr plötuprófi með 300 mm plötu

Fjöldi þunga ökutækja, ÁDUþ	E2, MPa	E2/E1
≥ 400	≥ 150	≤ 2,5
≥ 100	≥ 140	≤ 2,7
< 100	≥ 130	≤ 3,0

Í fyrri útgáfum Efnisgæðaritsins var krafan fyrir E2 ≥ 120 MPa og hlutfallið E2/E1 var breytilegt, sem sagt ≤ 2,5 til ≤ 3,5 eftir umferð þunga bíla. Þessar kröfur eru nú úreltar og eru ekki í samræmi við aukið umferðarálag á vegum landsins.

Mesta frávik einstakra plötuprófa til lækkunar er 10 MPa fyrir burðarþolsgildið (E2) en meðaltal E2 gilda skal ná kröfugildinu.

Mælingar á rúmþyngdum (sandkeilupróf, geislamæling eða rafsegulmæling) skulu sýna að þurr rúmþyngd eftir þjöppun sé a.m.k. 98% af hæstu þurri rúmþyngd við Modified Proctor þjöppun.

Í undantekningartilvikum eru notaðar hæðarmælingar, 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.

Þegar *bikbundið burðarlag* er þjappað, er fylgst með þjöppuninni með geislamæli eða rafsegulmæli og telst hún nægileg þegar breytingar á rúmþyngd milli umferða er orðin ásættanlega lítil (minni en 5%), eða þegar kröfum um rúmþyngd er náð. Ef síðarnefnda viðmiðunin er notuð, ætti a.m.k. í stærri verkum að gera tilraunaþjöppun með viðkomandi valta og efni til að ákveða nauðsynlegan fjölda yfirferða. Ef valti er búinn þjöppunarmæli er hann notaður og miðað við að munur milli lokaumferða sé minni en 5%.

Sementsbundið burðarlag er þjappað þar til kröfum er náð. Kröfurnar eru miðaðar við að mæld rúmþyngd með geislamæli sé 97% af mældri rúmþyngd kjarna sem þjappaðir eru með Kango-hamri á rannsóknastofu. Líklegt er að þessar kröfur náist ef þjöppunin er gerð á þann hátt að fara fyrstu tvær umferðirnar með gúmmíhjólavalta en eftir það má nota stáltromluvalta án titrunar fyrstu umferðirnar. Þjöppun skal lokið á innan við 4 klukkustundum ef hiti er á bilinu 5-10°C en 3 klukkustundum ef hann er meiri en 10°C.

Prófanir fyrir bundin burðarlög

Þegar mælingar í bikinnihaldi sýna úr bikbundnum burðarlögum er metin, með tilliti til hvort blöndun sé nægilega góð skal ekki vera meira en 1,2% munur á mesta og minnsta mælda bikinnihaldi.

Þegar þensla froðubiks er metin á það að þenjast út, þannig að rúmmál þess 12 til 18 faldist. Miða á við að rúmmálsþenslan sé a.m.k. 12 föld. Rúmmálið má svo ekki minnka um helming, fyrr en að minnsta kosti 15 sekúndum liðnum.

Þegar fylgst er með bikmagni sem notað er í bikbundin burðarlög við fræsingu og festun, skal frávikið ekki vera meira en $\pm 0,4\%$ fyrir hvern 18-20 tonna farm bindiefnis og ekki meira en $\pm 0,2\%$ fyrir verkið í heild.

Þegar sementsmagn sem notað er við fræsingu og festun er metið, er miðað við að frávikið sé mest $\pm 1 \text{ kg/m}^2$.

Sléttleiki, hannað yfirborð og þykktir

Kröfur um mesta frávik frá hönnuðu yfirborði, sléttleika þvers og langs og frávik frá hannaðri þykkt koma fram í töflu 5-17.

Tafla 5-17:
Kröfur til sléttleika, hannaðs yfirborðs og þykktar burðarlags, mælt á 500 m kafla fyrir tveggja akreina veg og 1000 m á einnar akreinar vegi

	Fjöldi þungra ökutækja, ÁDUÞ			
	≥ 100		< 100	
	Stök mæling	Meðaltal	Stök mæling	Meðaltal
Leyft frávik frá hönnuðu yfirborði (mm)	+20/-20	+5/-5	+30/-30	+10/-15
Sléttleiki í þverátt mældur með 3 m réttскеið (mm)*	10		15	
Sléttleiki í langátt mældur með 3 m réttскеið (mm)*	10		15	
Hámark frávika frá hannaðri lagþykkt (%)	+20/-10	/-5	+30/-15	/-10
Hámark frávika frá hönnuðum axlarbrúnum (mm)	+100/-0		+100/-0	