

Vegtæknilegar prófanir á endurunninni steypu

Edda Lilja Sveinsdóttir, Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins

Inngangur

Verkefnið var unnið sem hluti af rannsóknarverkefninu “Byggingarúrgangur á Íslandi – gagnagrunnur og umhverfismat”, en það hófst árið 1999 og lýkur nú í haust. Það var styrkt af Umhverfis- og Upplýsingatækniáætlun Rannís og auk þess lögðu Umhverfissráðuneytið og Vegagerðin til styrki. Samstarfsaðilar Rb í verkefninu voru ERGO-ráðgjöf á sviði jarðverkfræði, Sorpa, Samtök Iðnaðarins, Iðntæknistofnun Íslands og Reykjavíkurborg. Markmið verkefnisins eru að gera úttekt á því hve mikið, hvar og hvað fellur til af úrgangi í byggingariðnaðinum á Íslandi, athuga möguleika á nýtingu hans og gera tillögur þar að lútandi. Fyrri hluta verkefnisins er lokið, þ.e. gerð hefur verið úttekt á magni og gerð byggingarúrgangs, en hér verður sagt frá þeim hluta sem fjallar um möguleika á endurnýtingu steinsteypu í vegagerð.

Rannsóknir

Sumarið 2001 var Höfðatún 2 rífið og fékk verkefnið til umráða nokkra stóra steypuklumpa sem voru brotnir niður með kjaftbrjóti. Sýni af steypunni voru prófuð á rannsóknastofnu Rb bæði í hefðbundnum vegtækniþrófum á fyllingarefni og í steypusýni. Til að mæla þrýstipól endurunninnar steypu voru söguð og slípuð 13 sýni í teninga, 4-5 sm á kant, en stærri sýni náðust ekki. Ljóst er, sakir smæðar sýna og stórra fylliefnakorna, að dreifing niðurstaðna er mikil, en meðaltalsþrýstipól mældist 38,4 MPa. Loftdreifing var einnig mæld og reyndist yfirborð loftbóla vera 26 mm –1 (kröfur >25 mm –1), loftmagnið reyndist vera 1,7% (veðrunarþolin útisteypa þarf að hafa a.m.k. 5%) og fjarlægðarstuðullinn var 0,31 mm (krafa í dag < 0,20 mm). Þannig er ljóst að steypan úr Söginni uppfyllir ekki algengar kröfur sem gerðar eru til steypu í dag.

Vegtækniþrófanirnar eru: raki, kornadreifing, proctorpróf, CBR-próf, kúlnakvarnarpróf, kornarúmþyngd, vatnsísog, burðarþol í stórum stálhólk, berggreining, kleyfnistuðull (flakiness index), Bg-stuðull, LA-próf og frostþolspróf (Nordtest).

Niðurstöður vegtækniþrófana

Kornastærðardreifing sýnis var ákveðin með sigtun skv. EN 933-2:1995 þar sem sýnið er fyrst votsigtað en síðan þurrkað og sigtað í sigtívél.

Tafla 1 sýnir niðurstöður mælinga á sáldurferlum efnisins. Sáldurferlar fyrir efni finna en 19 og 16 mm voru fengnir eftir að grófara efni hafði verið sigtað frá (ekki malað).

Tafla 1. Sáldurferlar

Sýni/möskvast.	64	32	22,4	16	11,2	8	4	2	1	0,5	0,25	,125	,063
Heildarsýni	79	55	44	36	29	24	17	12	8	5	4	2	2
Finna en 19 mm	100	100	100	91	77	61	42	30	20	14	10	7	5
Finna en 16 mm	100	100	100	100	83	68	46	33	22	15	10	7	5

Kornastærðardreifing heildarsýnis var notuð í burðarþolsmælingu í stórum stálhólk, sýni finna en 19 mm var notað í Bg-stuðul, proctor og CBR próf og sýni finna en 16 mm var notað í flest önnur próf.

Raki var mældur skv. ASTM C-566 þar sem fundið er þyngdarhlutfall vatns í sýni og þurrs efnis eftir þurrkun við 110 °C. Raki í þessum sýnum var 13%.

Standard proctorpróf var gert skv. ASTM D-698. Það metur hvaða vatnsinnihald er best til að fá sem besta þjöppun á steinefni allt að 19 mm gróft. *CBR-(California Bearing ratio) próf* var gert skv. aðferð ASTM D-1833 og gefur upplýsingar um burðargetu efnisins. Prófið er gert á steinefni minna en 19 mm, þar sem sýni þjappast inn í CBR sívaling þangað til ákveðin rúmþyngd næst. Niðurstöður þjöppunar með proctor og CBR prófi eru sýndar í töflu 2.

Tafla 2. Niðurstöður proctor- og CBR prófa

Þjöppun	Raki þjöppun (%)	Raki próf (%)	Þurr rúmþyngd próf (kN/m ³)	CBR (%)	
				2,54	5,08
Proctor	7,3	17,7	17,56	22	29
	10,0	19,3	17,73	31	34
	12,2	17,3	18,01	48	55
	14,0	16,2	18,12	59	72

Kúlnakvarnarpróf var gert samkvæmt ÍST EN 1097-9, en það er byggt á sænskri lýsingu á prófuninni. Sýnin í kúlnakvörn voru samsett þannig að 35% var á stærðarbilinu 14–16 mm og 65% á bilinu 11,2–14 mm. Niðurbrot reyndist vera 48%.

Burðarþol í stórum stálhólk var gert skv. lýsingu Jóns Skúlasonar (1985) og E-gildi efnisins eru sem hér segir: $E_1 = 1265 \text{ kg/cm}^2$, $E_2 = 3071 \text{ kg/cm}^2$ og hlutfallið $E_2/E_1 = 2,43$.

Kornarúmþyngd og vatnsisog var mælt skv. ISO 6783 og 7033. Tafla 3 sýnir niðurstöður mælinganna.

Tafla 3. Kornarúmþyngd og vatnsisog

Stærðarflokkur	finna en 4,75 mm	4,75 og 32 mm
Kornarúmþyngd (kg/m ³)	2523 / 2317	2512 / 2357
Mettivatn (%)	8,9	6,6

Berggreining var í aðalatriðum gerð skv. Rb-riti nr. 57 og EN 932-3. Notuð var víðsjá bæði fyrir efni 8–16 mm, en þar voru greind samtals 209 korn og einnig efni úr kúlnakvarnaprófi, af sitthvorri stærðinni (14–16 og 11,2–14 mm) þar sem greind voru um 170 korn af hvorri stærð. Tafla 4 sýnir helstu niðurstöður.

Tafla 4. Berggreining

Berg/steintegund, ummyndun, þéttleiki, annað	8-16 mm (%)	14-16 mm (%)	11,2-14 mm (%)
Meirihluti sementsefja - steypa	75	40	37
Meirihluti sementsefja – múr/pússning (einsleit kornadreifing)	6	4	7
Basalt, ferskt, þétt, opin kristalbygging, áberandi ljóst	10	14	20
Basalt, ferskt, þétt, opin kristalbygging		16	16
Basalt, ferskt, þétt	9	10	4
Basalt, ferskt, blöðrótt, sum korn rauðoxuð		12	11
Basalt, ferskt, þétt, að hluta glerjað, líkist Björgunarefni		1	2
Setberg, móbergsset		3	3

Eins og sést á þessari töflu er heildarsýnið (8–16 mm) með mun meira af steypu en þau sem hafa farið í kúlnakvarnarpróf. Í kúlnakvörninni hefur steypan molnað utan af steinefnakornunum að einhverju leyti. Ekki er vitað um námu eða neitt annað um uppruna steinefnisins en líklegt er að það sé svokallað Reykjavíkurgrágrýti, sem einkennist af opinni kristalbyggingu og ólivínkristöllum og er ferskt, þétt basalt. Gæðaflokkun steypunnar skv. hefðbundinni flokkun berggreiningakerfisins er alls ekki augljós. Veikasti hluti steypunnar er sementsefjan, sem myndi flokkast sem 2. eða 3. flokks efni vegna þess hve mikið hún molnar niður. Í venjulegri steypu er sementsefjan yfirleitt ekki meiri en um 30% af heildarsýninu og þegar efjan hefur molnað utan af kornunum, standa eftir fyrstaflokks basaltkorn sem eru um 70% af heildarsýninu. Berggreining getur sagt til um af hvaða gerð fylliefnakornin eru og þannig gæðaflokkað um 70% steypunnar skv. hefðbundinni aðferð, en að öðru leyti er ekki ráðlegt að nota berggreiningu til gæðaflokkunar, heldur beinar prófanir á efninu í vegi.

Kornalögun – kleyfnistuðull (flakiness index) var mældur skv. EN 933-3. Kleyfni-stuðullinn mældist 10,7%.

Frostþol steinefna var prófað skv. aðferð Nordtest NT-Build 485 en þar eru steinefnin sett í 1% NaCl lausn við mælingu. Niðurbrot eftir frostþolspröfun reyndist vera 50,7%.

Mældur var styrkleiki „modified“ *Bg-stuðuls* á „Füller“ kúrfu, þjöppun skv. ASTM D 1557. *Bg-stuðullinn* er 22,2 og efnisraki við þökkun 6%.

LA-styrkleikapróf var gert skv. EN 1097-2, svipað ASTM Los Angeles prófinu. *LA-gildið* mældist 41,6.

Brothlutfallið var metið 100%.

Samanburður við kröfur til fylliefna í vegagerð

Erlendis er steypa sem fæst við niðurbrot steyptra mannvirkja nýtt sem efni í efra eða neðra burðarlag vega. Hér á landi gilda kröfur Alverks'95 (sjá töflur 5 og 6) ef ekki er kveðið sérstaklega á um annað í útboðsgögnum. Hópur á vegum Efnisgæðanefndar BUSL gaf út árið 2001 skýrslu um breytingartillögur á Alverki og er hér miðað við þær tillögur þegar niðurstöður prófana á steypunni eru skoðaðar.

Þessi mörk varðandi efra- og neðra burðarlag (mismunandi fyrir tegund vegflokka) eru:

- Kornastærð: fínefni sé minna en 5% í efra burðarlagi og minna en 7% í neðra.
- Berggreining þar sem metið er magn 3. flokks efnis: 7–15%
- Styrkleiki skv. mælingu á Bg-stuðli sé minna en 8–12%
- LA-gildi sé minna en 20–30%.
- Burðarþol E_2/E_1 á bilinu 2,0–3,5.
- Frostniðurbrot sé ekki meira en 9–19%
- Kleyfnistuðull sé á bilinu 20–35%
- Brothlutfall þarf að vera 30–50%

Tafla 5. Neðra burðarlag (kröfur Alverks '95)

Vegflokkur	Burðarþol CBR	Burðarþol E_2/E_1	Brotstuðull Bg
A-B1	> 35	< 5,0	< 6
B2-B3	> 30	< 5,5	< 7
C1-C2	> 25	< 7,0	< 7
C3-D	> 20	< 8,5	< 8

Tafla 6. Efra burðarlag (kröfur Alverks '95)

Vegflokkur	Burðarþol CBR	Burðarþol E_2/E_1	Brotstuðull Bg
A-B1	> 80	< 2,0	< 3
B2-B3	> 75	< 2,1	< 4
C1-C2	> 70	< 2,3	< 5
C3-D	> 65	< 2,5	< 6

Varðandi kornastærðardreifingu þá er fínefnið rétt á mörkunum, eða á bilinu 2-5%, sem þýðir að efnið er nothæft fyrir alla vegflokka í efra- og neðra burðarlag.

Samkvæmt berggreiningu gæti efnið verið allt að 70% 1. flokks efni og allt að 30% 2. eða 3. flokks efni. Samkvæmt Alverki eru kröfur um hámarks magn 3. flokks efnis fyrir efra- og neðra burðarlagsefni og þar væri efnið ekki nothæft.

Niðurstöður úr kúlnakvarnarprófi sýna að efnið er ekki hæft í slitlög, en þar eru mörkin fyrir malarslitlag að niðurbrot sé a.m.k. minna en 30% og efni í klæðingar og malbik þarf að hafa mun meira slitþol.

Bg-stuðullinn er of hár til þess að efnið standist kröfur í burðarlög, eða 22 % þegar mörkin eru 0-12%.

LA-gildið er of hátt til þess að efnið standist kröfur í burðarlög, eða 41,6% þegar mörkin eru undir 30%. Til upplýsingar má geta þess að Vatnsskarðsefni hefur svipað LA-gildi og sýnið.

Kleyfnistuðullinn er undir þeim mörkum sem þarf að uppfylla fyrir burðarlög, eða 10,7 þegar hann má fara í allt að 20-35%, þannig að efnið uppfyllir þær kröfur fyllilega.

Niðurstöður úr plötuprófi í stórum stálhólki sýna að efnið er hæft til notkunar í neðra burðarlag þar sem kröfur í Alverki 95 segja að vegflokkar A-B2 skuli hafa hlutfallið E_2/E_1 minna en 2,5 og flokkar B3-C minna en 3,5. Hvað varðar neðra burðarlag stenst efnið kröfur sem gerðar eru til vegflokka C3-D, þar sem gildið fellur innan 2,5.

Niðurstöður CBR-prófsins í töflu 2. sýna að CBR-gildið er mjög háð rakanum sem efnið er þjappað við. Ef þjappað er við 14% raka, stenst efnið kröfur til efnis í efra burðarlag fyrir vegflokka C-D. Það stenst einnig kröfur til efnis í neðra burðarlag fyrir vegflokka C-D í öllum tilvikum og alla vegflokka ef þjappað er við 12,2 eða 14% rakastig.

Efnið stenst ekki kröfur sem gerðar eru um frostþol – en líta ber á að skv. tillögum efnistækninefndar, að eingöngu er gerð krafa um frostþolspróf ef efnið inniheldur mikið af mjög ummynduðu basalti í 3. flokki skv. berggreiningu. Þetta efni greinist ekki með neitt mjög ummyndað basalt. Eðlilegt er að steypan molni niður í frostþolsprófi þar sem sementsbindingurinn milli kornanna er veiki punktur efnisins, en hafa ber í huga að um 70% steypunnar eru fyrsta flokks basaltkorn.

Brothlutfall var metið 100% og efnið stenst því kröfur sem gerðar eru um það.

Almennt má segja við mat á niðurstöðum úr vegtæknilegum prófunum fyrir steypuna, að þær eru í samræmi við niðurstöður annarra (sjá lokaskýrslu verkefnisins, nóvember 2002) þar sem kemur í ljós að steypan brotnar mikið niður í hefðbundnum rannsóknastofu-prófunum. Þar kemur einnig fram, að við prófanir á tilraunavegaköflum sem hafa verið gerðir úr endurunninni steypu, eykst styrkur hennar með tímanum vegna endurbindingar sements. ***Þess vegna er nauðsynlegt að gera tilraunavegakafla héraendis með endurunninni steypu til þess að fá úr því skorið hvort unnt sé að nota þetta efni sem vegagerðarefni.***