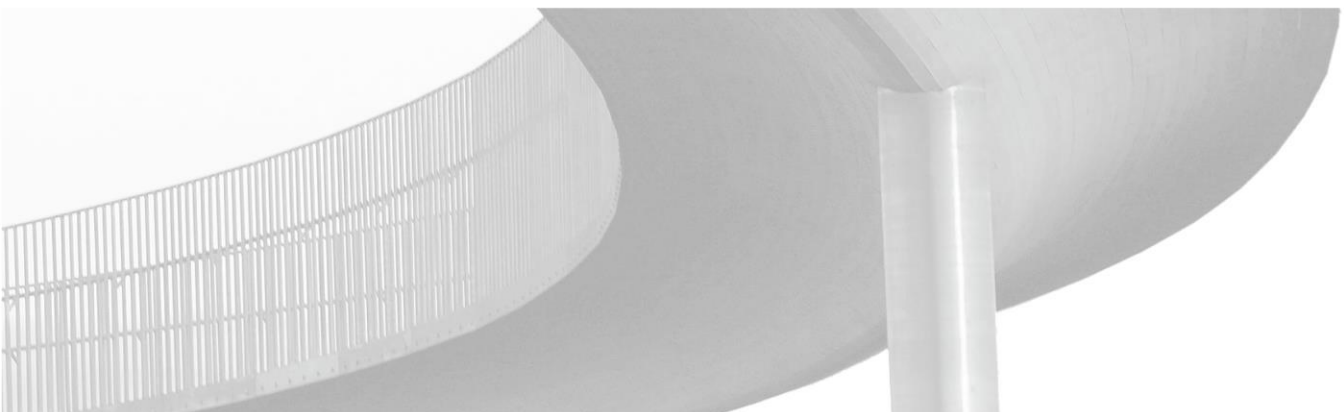


## ENDURUNNIN STEYPA Í BURÐARLÖG VEGA

Steypuafgangar steypustöðva endurunnir og nýttir sem burðarlagsefni

Lokaskýrsla, 12.11.2018



## SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ

### SKJALALYKILL

2970-224-SKY-001-V04

### SKÝRSLUNÚMÉR / SÍÐUFJÖLDI

### VERKEFNISSTJÓRI / FULLTRÚI VERKKAUPA

Þorbjörg Sævarsdóttir / Þórir  
Ingason, Kai Westphal, Einar  
Einarsson, Ellert Alexandersson

### VERKEFNISSTJÓRI EFLA

Þorbjörg Sævarsdóttir

### LYKILORÐ

### TITILL SKÝRSLU

Endurunnin steypa í burðarlög vega

### VERKHEITI

Endurvinnsla steypu í burðarlög vega

### VERKKAUPI

Vegagerðin, Steypustöðin hf, BM Vallá, Vatnsskarðsnámur, EFLA

### HÖFUNDAR

Þorbjörg Sævarsdóttir, Guðni Jónsson, Sigurður Thorlacius,  
Hafdís Eygló Jónsdóttir

### ÚTDRÁTTUR

### STAÐA SKÝRSLU

- Í vinnslu
- Drög til yfirlstrar
- Lokið

### DREIFING

- Opin
- Dreifing með leyfi verkkaupa
- Trúnaðarmál

Höfundar skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar eða álit þeirra stofnana eða fyrirtækja sem höfundar starfa hjá.

## ÚTGÁFUSAGA

---

HÖFUNDAR	DAGS.	RÝNT	DAGS.	SAMÞYKKT	DAGS.
Þorbjörg Sævarsdóttir & Guðni Jónsson	01.02.17	Guðni Jónsson	01.02.17	DRÖG	01.02.17
Þorbjörg Sævarsdóttir & Guðni Jónsson	31.03.17	Guðni Jónsson	31.03.17	ÁFANGASKÝRSLA	31.03.17
Þorbjörg Sævarsdóttir, Guðni Jónsson & Sigurður Thorlacius	12.11.18	Þorbjörg Sævarsdóttir Hafdís Eygló Jónsdóttir	12.11.18	Þorbjörg Sævarsdóttir	12.11.18



## SAMANTEKT

Endurvinnsla og endurnýting efna er alltaf að verða mikilvægari og alþjóðakröfur að verða strangari. Þar sem kröfur til landfyllinga eru alltaf að aukast, bæði hvað varðar magn og gæði efnis sem fer í fyllingar, hafa margar þjóðir heims, og þar með taldar nágrannaþjóðir okkar, kappkostað að endurvinnna og endurnýta efni sem fellur til við iðnaðarframleiðslu og dregið úr því magni sem þarf að urða og setja í landfyllingar. Kröfur til endurvinnslu og endurnýtingar eru að aukast á Íslandi, vegna þessa er nauðsynlegt að kanna mismunandi möguleika endurvinnslu og er þessi rannsókn liður í því.

Í þessu rannsóknaverkefni var kannaður sá möguleiki að nýta íslenska steypuafganga til vegagerðar, nánar tiltekið steypu sem tilfellur á steypustöðvum. Endurunnin steypa hefur verið og er notuð í burðar- og styrktarlög vega sem og í hjólreiða og göngustíga víðs vegar í heiminum og þar með talið á Norðurlöndunum. Talið er að endurunnin steypa sé ekki síðri en náttúrulegt steinefni úr námum og í sumum tilvikum talin betri kostur.

Tekin voru tvö sýni af steypuafgöngum. Fyrri sýnið var brotið hjá Alexander Ólafssyni ehf í Vatnsskarðsnámum og seinna sýnið hjá Loftorku í Borgarnesi. Efnið sem brotið var í Vatnsskarðsnámum samanstóð af steypuafgöngum frá Steypustöðinni. Efnið var tekið beint af steypibílunum, sett í haug og keyrt í námuna. Hjá Loftorku samanstóð sýnið af efni sem steyppt hafði verið í rör sem ekki var hægt að nota. Bæði sýnin voru möluð í 0/22 mm kornastærð og eiginleikar þeirra könnuð. Sýnin voru sett í fiskikör og voru þau flutt á rannsóknarstofu EFLU. Sýnin voru meðhöndluð sem óbundið burðarlagsefni og kornadreifing, kornalögun / kleyfni og styrkleiki prófaður (LA-gildi) á rannsóknastofu. Ekki var ekki talin þörf á því að meta brothlutfall eða gera berggreiningu, húmus- og þjáltnipróf eða frostþolspróf vegna þess að þessir eiginleikar höfðu áður verið prófaðir á fylliefni steypunnar.

Bæði sýnin standast að mestu leyti körfur Vegagerðarinnar til óbundins burðarlags fyrir utan fínefnainnihald í fyrri sýninu. Hægt er að stýra kornadreifingunni í vinnslunni með því að taka undan fínefni á forhörfu en það var ekki gert í þessu tilviki. Styrkleiki efnisins (LA) í seinna sýninu var rétt um hámarksmörk. Líklegt er að töluvert af fínefninu í fyrri sýninu sé óhvarfað sement sem bindur efnið saman þegar það er komið í veginn og gefur því aukinn styrk. Fyrri sýnið límdist saman í fiskikarinu á meðan seinna sýnið var óbundið. Niðurstöður benda til þess að endurunna steypu er hægt að nota í óbundin burðarlög. Til að efnið standist kröfur varðandi kornadreifingu þá þarf að taka undan fínefni á forhörfu í sjálfri vinnslunni til að stilla af kornakúrfu efnisins.



## EFNISYFIRLIT

SAMANTEKT	5
1 INNGANGUR	11
2 HEIMILDIR	13
2.1 Noregur	15
2.2 Svíþjóð	17
2.3 Danmörk	19
2.4 Nýja Sjáland	22
3 UMHERFISLEGUR ÁVINNINGUR	23
3.1 Samanburður á kolefnisspori endurunninnar steypu og steinefnis í burðarlög vega	24
3.1.1 Markmið og umfang samanburðar	24
3.1.2 Niðurstöður samanburðar	26
4 KRÖFUR TIL BURÐARLAGS Á ÍSLANDI	27
4.1 Kornadreifing	27
4.2 Kornalögun	28
4.3 Styrkleikapróf	29
4.4 Berggreining	29
4.5 Brothlutfall	30
4.6 Húmus / þjálni	30
4.7 Frostþolspróf	30
5 VINNSLA EFNIS	31
5.1 Haustið 2016 – sýni 1	31
5.2 Síðsumars 2018 – sýni 2	32
6 NIÐURSTÖÐUR PRÓFANA	33
6.1 Kornadreifing	34
6.2 Kornalögun	36
6.3 Styrkleikapróf	36
7 LOKAORÐ	37
8 HEIMILDASKRÁ	38
VIÐAUKI A NIÐURSTÖÐUBLÖÐ RANNSÓKNARSTOFU	40





## MYNDASKRÁ

Mynd 1	Fylki í Bandaríkjunum þar sem endurunnin steypa er notuð sem steinefni í burðarlög (FWHA, 2016).	14
Mynd 2	Vistferill mannvirkis.	23
Mynd 3	Kerfismörk samanburðar á kolefnisspori annars vegar fyrir endurvinnslu steypu í burðarlög vegar og hins vegar framleiðslu steinefnis í námu í burðarlög og losun steypu í Bolaöldu. Kerfismörk eru sýnd með punktalínu.	25
Mynd 4	Samanburður á gróðurhúsaáhrifum tveggja valkosta, að urða steypu eða endurvinna steypu.	26
Mynd 5	Markalínur fyrir malað 22 mm berg í burðarlög (Vegagerðin, 2016).	28
Mynd 6	Marklínur steinefnis fyrir sementsfest burðarlög (Vegagerðin, 2016).	28
Mynd 7	Efnið var fyrst forbrotið í kjaftbrjót Metso LT 120.	32
Mynd 8	Síðan fór efnið í kónbrjót Metso LT 330.	32
Mynd 9	Niðurstöður kornadreifingar á endurunninni steypu – sýni 1 (rautt) og sýni 2 (grænt) ásamt innri (heil) og ytri (brotin lína) markalínur fyrir 0/22 mm malað berg í burðarlög.	34
Mynd 10	Niðurstöður kornadreifingar á endurunninni steypu – sýni 1 (rautt) og sýni 2 (grænt) ásamt markalínur A fyrir sementsfest burðarlög.	35
Mynd 11	Mæling á fínefnahluta (<0,063 mm) endurunninnar steypu með Ljörva – sýni 1.	35

## TÖFLUSKRÁ

Tafla 1	Algengir efniseiginleikar náttúrlegs fylliefnis, brotinnar steypu og brotinnar múrsteina (De Belie & Robeyst, 2007).	13
Tafla 2	Kröfur til útlagðrar, óbundinnar brotinnar steypu í styrktarlag.	17
Tafla 3	Gæðaflokkar brotinnar steypu.	18
Tafla 4	Kornakúrfa brotinnar steypu í burðarlög göngu- og hjólastíga og styrktarlög vega.	19
Tafla 5	Kornadreifing fyrir KB (0/31,5 mm) og KBT I, skv. DS/EN 13285 skal efnið flokkast sem G <sub>c</sub> , OC <sub>75</sub> , UF <sub>7</sub> og LF <sub>2</sub> .	19
Tafla 6	Brothlutfall í fyrir flokka KB og KBT I.	20
Tafla 7	Kröfur sem gerðar til efnasamsetningar brotinnar steypu og múrsteina.	20
Tafla 8	Samspil milli umferðarflokkunnar og efnisvals.	21
Tafla 9	Efniseiginleikar fyrir flokka A, B og C brotinnar steypu í burðarlög vega og í hvaða umferðarflokka má nota mismunandi flokka.	21
Tafla 10	Kornadreifing fyrir KB (0/31,5 mm) efni í flokki C. Brothlutfallið má vera á milli 5-35%.	22
Tafla 11	Kröfur til kornalögunar steinefna í burðarlög (Vegagerðin, 2016).	28
Tafla 12	Kröfur fyrir styrkleika steinefna í burðarlög (Vegagerðin, 2016).	29
Tafla 13	Leiðbeinandi kröfur um leyfilegt magn steinefna í 3.flokki (Vegagerðin, 2016).	29
Tafla 14	Kröfur sem gerðar eru á brothlutfalli steinefna í burðarlög vega (Vegagerðin, 2016).	30
Tafla 15	Kröfur fyrir frostþolspróf fyrir steinefni í burðarlög (Vegagerðin, 2016).	30



## 1 INNGANGUR

Í rannsókn sem gerð var árið 2003 kom fram, að meðan nýr bíll er oftast um 70% endurnnið efni þá samanstóð nýr vegur á Nýja Sjálandi af minna en 1% af endurrunnum efnum. Ein af helstu ástæðum var talin sú að vegiðnaðurinn taldi að endurrunnin efni væru síðri heldur en náttúruleg steinefni og því einungis nýtanleg í takmörkuð verkefni. Þekking á eiginleikum endurrunninna efna hefur stóraukist samhliða því að erfiðara er að finna góðar námur, efnisverð hefur hækkað og meiri kröfur eru gerðar til urðunar (Slaughter, 2006).

Endurvinnsla og endurnýting er alltaf að verða mikilvægari, samhliða auknum alþjóðakröfum. Kröfur til landfyllinga eru einnig að aukast, bæði hvað varðar magn og gæði þess efnis sem fer í fyllingar. Þess vegna hafa margar þjóðir heims, og þar með taldar nágrannaþjóðir okkar, kappkostað að endurvinnna og endurnýta efni til þess að draga úr því magni sem þarf að urða og minnka notkun nýrra hráefna. Kröfur til endurvinnslu og endurnýtingar ásamt harðari aðgerðum til að sporna gegn urðun munu líklega aukast á Íslandi. Mögulega fer að verða erfiðara að fá og finna námur og tekin upp gjaldtaka við urðun. Vegna þessa er nauðsynlegt að kanna mismunandi möguleika við endurvinnslu og endurnýtingu og er þessi rannsókn liður í því.

Talið er að steinefni til vegagerðar sé um 1/3 af öllu steinefni sem framleitt er í heiminum, en að meðaltali eru notuð um 12-13.000 tonn af stein- eða fylliefni til að byggja hvern kílómetra af nýjum vegi (motorway) (AEA, 2010). Evrópusambandið hefur talið upp eftirfarandi ástæður til endurvinnslu steinefna í vegagerð, en listinn er ekki tæmandi (AEA, 2010):

- Aukinn kostnaður við landfyllingar sem og skortur á svæðum til landfyllinga.
- Skortur á góðu efni úr námum.
- Loft- og jarðmengun vegna brennslustöðva og/eða landfyllinga.
- Minni orkunotkun.
- Efnahagslegur og tæknilegur kostur endurvinnslu, oft lægri kostnaður við endurvinnslu.

Endurvinnsla og endurnýting iðnaðarúrgangs hefur aukist töluvert og í þessari rannsókn er kannaður sá möguleiki að endurvinnna steypuafganga í óbundin og bundin burðarlög vega. Steypuafgangar eru steypa sem fellur til á steypustöðvum, meðal annars úr steypubílum sem koma í stöð án þess að vera tæmdir að fullu á verkstað. Því er um að ræða hreina ónotaða steypu sem er laus við öll aðskotarefni, svo sem steypustyrktarjárn og annan byggingarúrgang. Á Íslandi falla til nokkur þúsund rúmmetrar af ónotuðum steypuafgöngum á hverju ári sem í dag fer í landfyllingar og urðun. Þetta er gott efni sem víða annars staðar í heiminum er endurunnið og notað í mannvirki eins og burðarlög vega.

Árið 2004 voru Danir og Finnar farnir að nýta á bilinu 15-30% af brotinni steypu til mannvirkjagerðar. Hugmyndin var þá þekkt í Noregi og Svíþjóð en ekki vitað hversu mikið hlutfall enduruninnar steypu var. Ísland var eina Norðurlandið sem ekki nýtti endurrunna steypu að neinu leyti. Árið 2012 var talið að um 95% af steypu sem féll til í Danmörku væri endurnýtt og að hlutfallið hefði aukist á hinum Norðurlöndunum utan Íslands. Árið 2016 var staðan á Íslandi sú að steypuafgangar voru enn urðaðir, settir í landfyllingar eða notaðir til landmótunar (Tangen & Evensen, 2013; Statens vegvesen, 2013; Andersen, 2012).

Á Íslandi eru um 20 steypustöðvar sem eru dreifðar víða um landið. Gera má ráð fyrir að um 5% af heildarframleiðslunni sé ekki nýtt og fari til urðunnar. Ef litið er til tveggja stærstu aðilana á höfuðborgarsvæðinu, Steypustöðinnar hf og BM-Vallár, þá gerir þetta um 5.000 m<sup>3</sup> á ári en í heildina eru þetta líklega um 8.000 m<sup>3</sup> á landinu öllu miðað við ársframleiðslu ársins 2015. Miðað við þessar tölur er nokkur ávinningur við að endurvinnna steypu hér á landi þegar til langs tíma er litið þar sem steypuframleiðsla er í örurum vexti.

Markmiðið verkefnisins var að kanna hvort endurunninn fersk steypa sem fellur til á steypustöðvum standist kröfur Vegagerðarinnar til notkunnar í burðarlög vega. Ásamt því að prófa efnið var litið til reynslu manna af nýtingu enduruninnar steypu á Norðurlöndunum sem og annars staðar. Niðurstöður verkefnisins sem og reynsla manna annars staðar frá gefa tilefni til bjartsýni. Hérna er gott efni sem full ástæða er til að endurvinnna og nýta. Sýnt hefur verið fram á aukin styrk burðarlaga í vegum þar sem brotin steypa hefur verið notuð, þar sem óhvarfaði hluti sementsins binst eftir að vera kominn í veginn. Höfundar skýrslunnar hvetja hönnuði og framkvæmdaðila til notkunnar á ónýttri ferskri steypu og leggja þannig áherslu á eiginleika en ekki uppruna efnisins.

## 2 HEIMILDIR

Mannvirki krefjast mikils magns náttúrulegra fylli- og steinefna. Nýting þeirra er ekki talin umhverfisvæn þar sem námuvinnsla til dæmis úr árfarvegum eða úr klöpp breyta jafnvægi og ásýnd landsins. Þrátt fyrir að nánast allur úrgangur steyptra mannvirkja geti verið endurnýttur sem brotin steinefni, þá er enn mikið af efni sett í landfyllingar og til urðunnar. Algengt er að flokka endurunnin steinefni úr mannvirkjum í þrjá flokka: endurunnir brotnir múrsteinar, endurunnin brotin steypa og náttúruleg fylliefni (tafla 1).

Tafla 1 Algengir efniseiginleikar náttúrulegs fylliefnis, brotnar steypu og brotinn múrsteina (De Belie & Robeyst, 2007).

	NÁTTÚRULEGT FYLLIEFNI	ENDURUNNIN BROTIN STEYPA	ENDURUNNIR BROTNIR MÚRSTEINAR
Eðlismassi SSD (kg/m <sup>3</sup> )	2610	2480	2035
Ofn þurrkaður eðlismassi (kg/m <sup>3</sup> )	2570	2380	1660
Void ratio (%)	1,6	16	38
Vatns upptaka (%)	1,43	4,50	23
Brotgildi	0,88	0,78	0,67

Endurunnin steypa er notuð í burðar- og styrktarlög vega, og hjólreiða- og göngustíga víðs vegar í heiminum. Talið er að endurunnin steypa, og þá sérstaklega ný steypa, sé ekki síðri en steinefni sem koma úr námum og í sumum tilvikum betri þar sem óhvarfað sement binst og styrkir burðarlag vega enn frekar. Sýnt hefur verið fram á úti í mörkinni og á rannsóknarstofu, að brotin steypa er oft stífari og stöðugri heldur en sambærilegt steinefni úr námu. Talið er að stífni efnisins geti verið allt af þreföld miðað við hefðbundið steinefni sex mánuðum eftir útlögn ef vandað er til verks. Það gerir efnið eftirsóknarvert á staði þar sem álag er mikið svo sem í vasa strætisvagna og á iðnaðarplönnum (Ydrevik & Arm, 2001; Vägverket, 2004; Pihl o.fl., 2004; De Belie & Robeyst, 2007). Steinefni steypu er yfirleitt með sama eða meiri styrkleika heldur en steinefni sem sett eru í burðarlög vega. Það er hins vegar annar byggingarúrgangur sem veikir endurunu brotnu steypuna s.s. timbur, einangrun, jarðefni og plast (Slaughter, 2006).

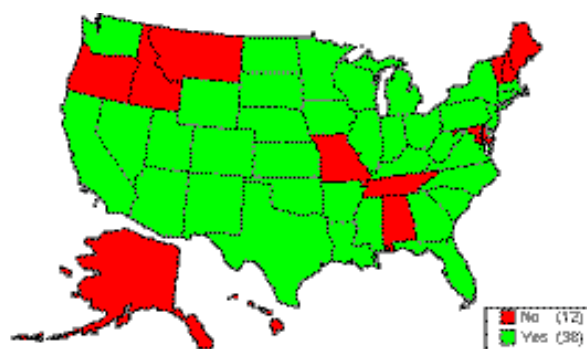
Þegar litið er til staðla evrópska staðlaráðsins er fyrsta setningin í staðlinum EN 13242:2002+A1:2007 sú að það séu eiginleikar steinefnis sem skipti máli en ekki hvort það

komi úr námu, sé framleitt eða endurunnið fyrir bæði bundin og óbundin efni í almenn byggingarverkfræðileg verkefni og vegagerð. Þannig er áhersla lögð á eiginleika en ekki uppruna efnisins. Enska heitið fyrir steinefni er „aggregate“ og er skilgreint sem „granular material used in construction. Aggregates may be natural, manufactured or recycled“. Efnið er flokkað eftir því hversu mikið hlutfall endurunninna steinefna er en henni svipar mjög til flokkunarinnar sem Danirnir hafa sett fram, sbr. tafla 7.

Staðalinn EN 13242 sem og hliðarstaðalinn EN 13285:2010 (unbond mixtures – specifications) gera „hefðbundnar“ kröfur til steinefna s.s. kornadreifingar, kornalögun, magn fínefna, styrks (LA-stuðull), mótstöðu gegn högg- og núningsálagi, kleyfni, rúmþyngd og vatnsdrægni svo eitthvað sé talið. Einnig er tekið fram að í sumum tilfellum þarf að kanna endingu steinefna þ.m.t. mótstöðu við frost/þíðu sveiflum. Auk þessa verður að tryggja að ekki séu skaðleg efni og þess vegna er efnagreiningar krafist í sumum tilfellum.

Svíar hafa gefið út leiðbeiningarrit sem heitir „Allman teknisk beskrivning, Krossad betong i vägkonstruktioner“ og Norðmenn hafa verið að vinna verkefnið „Varige veger“ þar sem ein skýrslan ber nafnið „Bruk av knust betong i vegbygging“ (Vegverket, 2004; Statens vegvesen, 2013). Danir gáfu út árið 2011 forskrift að útboðsgögnum þar sem brotin steypa er nýtt í burðarlög vega (Vejdirektoratet, 2011) og Finnar voru með ráðstefnu á vegum VTT (Technical Research Centre of Finland) árið 2000 um hagnýtar jarðtæknilegar útfærslur meðal annars með tilliti til vegagerðar (International Conference on Practical Applications in Environmental Geotechnology). Af þessu má ljóst vera að aðrar norðurlandþjóðir líta til brotinnar steypu sem mögulegs vegagerðarefnis.

Á Bretlandseyjum var þörf fyrir 200 milljón tonn af steinefnum árið 2013 og þar af voru 57 milljón tonn endurunnin (SEPA, 2013). Í Bandaríkjunum hafa FHWA (Federal Highway Administration) gefið út rit með leiðbeiningum um endurnýtingu á ýmsum hliðarafurðum til vegagerðar, og þar á meðal steypu (FHWA, 1998). Árið 2016, voru 38 af 50 fylkjum Bandaríkjanna farin að nota endurrunna steypu í burðarlög vega, sbr. mynd 1 (FHWA, 2016).



Mynd 1 Fylki í Bandaríkjunum þar sem endurunnin steypa er notuð sem steinefni í burðarlög (FHWA, 2016).

Fáar rannsóknir hafa verið gerðar á endurunninni steypu hér á landi og engar þar sem verið er að nýta steypuafganga frá steypustöðvum. Í rannsókn Børge Johannes Wigum o.fl. frá árinu 2002 voru tekin sýni úr húsi til niðurrifs við Höfðatúni 2 í Reykjavík og það efni brotið niður og sent í rannsókn. Rannsóknin leiddi í ljós að styrkur endurunnu steypunnar var ekki nægjanlegur, þar sem LA-gildi og Bg-stuðull endurunnu steypunnar var of hátt. Ekki finnast nákvæmar heimildir um byggingartíma hússins, en það var reist fyrir árið 1950 og því allt aðrar kröfur gerðar til steypunnar á þeim tíma en í dag. Þar að auki hefur hvörfunargráða steypunnar verið nánast 100% og mögulega önnur aðskotaefni í steypunni. Þetta gæti skýrt lágan styrk efnisins.

## 2.1 Noregur

Í handbókum Norsku vegagerðarinnar er mælt til endurvinnslu og/eða endurnýtingar. Í handbók N200 (Statens vegvesen, 2014) segir meðal annars „endurvinnsla og endurnýtingu skal forgangsraða á grundvelli auðlinda og umhverfissjónarmiða“. Í handbók 211 um úrgangsstjórnun (Statens vegvesen, 2012), stendur að hafa skuli endurvinnslu og endurnýtingu í huga á öllum stigum verkefna, allt frá skipulagningu og byggingu að rekstri og viðhaldi. Töluverð reynsla er komin af notkun endurunninnar steypu í Noregi við góða raun.

Í Noregi er verið að innleiða notkun endurunninnar steypu til vegagerðar. Þar er bæði verið að nota steypu sem fellur til á steypustöðvum sem og steypu sem fellur til við niðurrif mannvirkja. Margir notkunarmöguleikar eru tilgreindir, en notkunin fer eftir staðbundnum aðstæðum ásamt gæði steypunnar sem verið er að endurvinna. Mælt er með notkun til dæmis (Statens vegvesen, 2013):

- Á framkvæmdasvæðum (no. anleggsveger og riggområde)  
Reynslan sýnir að endurunnin steypa hentar oft vel sem grunnur á framkvæmdasvæðum þar sem undirlagið er blautt. Það er vegna þess að steypukornin hafa oft betri innri núning heldur en hefðbundin steinefni. Dæmi um notkunarmöguleika eru hjáleidir á framkvæmdatíma, sem grunnur undir geymslusvæði og/eða byggingar á framkvæmdatíma. Einnig hefur efnið verið notað til styrkingar á fláum í skeringum.
- Í vegagerð sem styrktar- og burðarlög  
Góð endurunnin steypa hefur þá eiginleika að dreifa álaginu vel og hentar því í sumum tilfellum betur en venjulegt steinefni af sömu tegund. Þessi aukna stífni er vegna aukins núnings á milli efniskorna, að hluta til vegna hrjúfs yfirborðs og að hluta til vegna þess að óhvarfað sement bindur sig eftir að steypan hefur verið brotin. Handbók N200 (Statens vegvesen, 2014) fjallar um kröfurnar sem eru gerðar til massa sem notaður er í yfirbyggingu vega, *Gjb I* (brotin steypa) og *Gjb II* (blandaður massi með brotinni steypu og hellusteinum). *Gjb I* má nota í burðarlög fyrir göngu- og hjólastíga og bílastæði með litla umferð. *Gjb I* og *II* má nota í styrktarlag vega þar sem árdagsumferðin er minni en 5000 bílar.

- Lokuðum lagnaskurðum

Nota má endurunna steypu sem fyllingar í lagnaskurði, að því gefnu að efnið sé brotið niður í heppilegar stærðir og flokkað.

- Fyllingar og hljóðmanir

Endurunnin steypa hefur í mörgum tilfellum verið notuð sem fláafleygar, kjarnaefni í hljóðmanir og í aðrar fyllingar. Notkunin nýtir ekki eiginleika efnisins til fulls og skal því frekar nota efnið í vegbygginguna ef það hentar. Helst er að efnið skorti frostmótstöðu og er því ráðlagt að nota efnið þar sem góð afvötnun er til staðar.

Efniskröfur sem gerðar eru til endurunnar steypu eru tíundaðar í handbók N200 (Statens vegvesen, 2014), en þar er tiltekið að efnið skal afhent og unnið í samræmi við NS-EN 13242 staðalinn (Tilslag for mekanisk stabiliserte og hydraulisk stabiliserte materialer til bruk i bygg og anleggsarbeid og vegbygging) (EN 13242:2002+A1:2007).

Í Noregi eru styrkleikaprófin Los Angeles og Micro-Deval notuð til þess að kanna mótstöðu steinefna við niðurbrot. Auk krafanna sem taldar eru upp í töflu Tafla 2 hér að neðan er einnig gerð krafa um kornadreifingu, framkvæmd og þjöppun.

Sem dæmi um Norsk verkefni má t.d. nefna:

Linderud-Kalbakken – verkefnið var að byggja og breikka göngu- og hjólastíg árið 2001. Ákveðið var að nota endurunna steypu, þar sem fyrri reynsla hafði sýnt að auðvelt var að vinna með efnið. Steypan var notuð í burðar- og styrktarlög. Efnið virtist ekki brotna meira niður heldur en náttúruleg steinefni en eitthvað af steypustyrktarjárnri var til staðar í efninu sem tínt var úr eftir þörfum (Statens vegvesen, 2013).

St. Olavs sjúkrahúsið í Þrándheimi – þar var ein af kröfum verksins að endurnýta allt efni, eða því sem næst, sem rifið var. Því var notuð steypa sem féll til í styrktar- og burðarlag fyrir bílastæði sjúkrahússins. St. Olavs verkefnið hófst árið 1999 og því átti að ljúka 2012.

E6 Melhus – Þar sem fyrri reynsla hafði sýnt að styrkur endurunninnar steypu eykst með tímanum eins og efnafræðilega stöðug efni, væntanlega vegna fínafnis í steypunni var ákveðið að byggja E6 veginn í Melhus með brotinni steypu. Vegurinn var byggður á árunum 2002-2005, með tveimur 80 metra löngum köflum þar sem endurunnin steypa var notuð en þess á milli var notast við hefðbundið burðar- og styrktarlagsefni. Steypan var brotin niður í 0-120 mm og 20-120 mm steinefni, til að kanna áhrif fínafna. Styrktarlagið var valtað með tveimur mismunandi völtum til að sjá hvaða áhrif það hefði á styrk endanlegrar vegbyggingar og það var þjappað í tvennu lagi, 35 og 30 sm þykkum lögum til að ná ásættanlegri þjöppun. Góður stöðugleiki olli því að ekki var vandamál að keyra þunga vörubíla á einungis neðra laginu. Niðurstöðurnar sýndu að þar sem notað var brotin steypa í veginn, var vegbyggingin sterkari heldur en þar sem hefðbundin steinefni voru notuð (Statens vegvesen, 2006).



Tafla 2 Kröfur til útlagðrar, óbundinnar brotinnar steypu í styrktarlag.

KRÖFUR TIL MEKANÍSKRA EIGINLEIKA OG KORNADREIFINGAR	GÆÐAKRÖFUR			FRÁVIK	TÍÐNI PRÓFANNA LÁGMARK 1 PRÓF FYRIR HVERJA EINGU AF STÆRÐINNI
	KRAFA GILDI	FLOKKUR	VIKMÖRK		
<b>ÓBUNDIN BROTTIN STEYPA Í STYRKARLÖG</b>					
LA-GILDI	≤ 35	LA <sub>35</sub>			10.000 m <sup>3</sup>
MICRO-DEVAL GILDI	≤ 15	M <sub>DE</sub> 15			10.000 m <sup>3</sup>
MESTA EFNISMAGN TIL AÐ FARA UM 63 µM SIGTIÐ M.V. <22,4 MM EFNI	7%		20 %	+ 2 %	1000 m <sup>3</sup>
HLUTFALLIÐ C <sub>U</sub> (D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub> )	≥ 15		20 %	- 3 %	1000 m <sup>3</sup>
STÆRSTI STEINN	≤ 125 mm		20 %	20 mm	1000 m <sup>3</sup>
<b>KRÖFUR SEM GERÐAR ERU TIL Gjb I (BROTIN STEYPA) Í GÖNGU OG HJÓLASTÍGA</b>					
LA-GILDI	≤ 40	LA <sub>40</sub>			1500 m <sup>3</sup>
KLEFNIÐULL (FLAKINESS INDEX)	≤ 35	Fl <sub>35</sub>			1500 m <sup>3</sup>
MICRO-DEVAL GILDI	≤ 15	M <sub>DE</sub> 15			1500 m <sup>3</sup>
BROTGILDI	≤ 15	A <sub>N</sub> 19			1500 m <sup>3</sup>
KORNADREIFING	Hefðbundin, ekki sýnd hér	G <sub>0</sub>			500 m <sup>3</sup>
MESTA FÍNEFNAINNIHALD (<63µM)	7 %	F <sub>7</sub>			500 m <sup>3</sup>
D ≤ 32 MM	5 %	F <sub>5</sub>			500 m <sup>3</sup>
MINNSTA FÍNEFNAINNIHALD	2%				500 m <sup>3</sup>
MESTA EFNI Í YFIRSTÆRÐ	15 %	G <sub>A</sub> 85			500 m <sup>3</sup>
EFNISSAMSETNING			GJB I BROTTIN STEYPA	GJB II BLANDAÐIR MASSI	
BROTIN STEYPA (R <sub>C</sub> )			≥ 90 %		
BROTIN STEYPA, NÁTTÚRULEG Fylliefni og brotnir MÚRSTEINAR (R <sub>C</sub> + R <sub>U</sub> + R <sub>B</sub> )				≥ 90 %	
BROTINIR MÚRSTEINAR (R <sub>B</sub> )			≤ 10 %		
BROTID MALBIK (R <sub>A</sub> )			≤ 5 %	≤ 5 %	
GLER (R <sub>G</sub> )			≤ 2 %	≤ 2 %	
TIMBUR, VEGGFÓÐUR, MÁLMUR, PLAST, GÚMMÍ OG ANNAD (X)			≤ 1 %	≤ 2 %	
FLJÓTANDI AGNIR			≤ 5 cm <sup>3</sup> /kg	≤ 5 cm <sup>3</sup> /kg	
EÐLISMASSI					
OFNÞURRKUN			> 2000 kg/m <sup>3</sup>	> 1500 kg/m <sup>3</sup>	
VATNSMETTAD OFNÞURRKUN			> 2100 kg/m <sup>3</sup>	> 1800 kg/m <sup>3</sup>	
VATNSUPPTAKA			< 10 %	< 20 %	

## 2.2 Svíþjóð

Árið 2004 gáfu gaf sænska vegagerðin (Vägverket) út ritið „Allmän teknisk beskrivning, krossad betong i vägkonstruktioner“ eða almenna tæknilyngu fyrir brotna steypu til vegagerðar. Í leiðbeiningunum er fjallað um hönnunarforsendur, gæðastýringu og framkvæmd verks þar sem nota á brotna endurunna steypu í vegbyggingar. VTI gerði nokkra vegi og skoðaði endingu þeirra. Vegirnir voru frá Malmö í suðri til Luleå í norðri, umferð á vegunum var lítil til miðlungs mikil, en einnig var brottin steypa notuð í iðnaðarplan við pappírsværksmiðu og á aðkomuvegi og bílastæði við veitingahús. VTI gerði mælingar úti í mörkinni og á

rannsóknarstofu. Úti í mörkinni var mælt með falllóði, hjólför mæld og sprungur kortlagðar. Á rannsóknarstofu var gert dynamískt þríasapróf á mismunandi samsetningu brotinnar steypu. Niðurstöður þessara mælinga skapaði grunn fyrir fyrrnefnda handbók um notkun brotinnar steypu í vegagerð.

Í Svíþjóð hefur brotin steypa verið nýtt í vegagerð um áraraðir í stað náttúrulegra steinefna við góðan orðstýr. Árið 2001 var magn endurunninnar brotinnar steypu um 1-1,5 milljón tonn á ári, þrátt fyrir að vera lítil prósentu af heildar efnis þörfinni gera sérstakir eiginleikar steypunnar hana áhugaverðan kost til endurnýtingar (Ydrevik & Arm, 2001).

Svíarnir skilgreina sérstaklega „restbetong“ sem er steypa sem fellur til við framleiðslu og „rivningsbetong“ sem er steypa sem tilfellur við niðurrif mannvirkja. Tæknilegir eiginleikar brotinnar steypu eru aðallega háðir uppruna steypunnar, styrk hennar, aldur og getu hennar til að bindast. Hreinleiki steypunnar hefur þó einnig áhrif þar sem best er að hún samanstandi einungis af sementi og steinefni. Þær kröfur sem svíar gera til brotinnar steypu eru í töflu Tafla 3, en flokkunin byggist á hreinleika og styrk (Vägverket, 2004). Steypa sem fellur til við framleiðslu er talin vera „hrein“ steypa þ.e.a.s. hún er ekki talin innihalda spilliefni heldur flokkast með steinefnum. Brotin steypa sem nota á í burðarlög, göngu- og hjólastíga og styrktarlög vega skal vera í gæðaflokki 1 eða 2, með hæsta micro-Deval gildið 25 en ef stígurinn hefur litla umferð og léttari en 3,5 tonn má efnið hafa micro-Deval allt að 35. Einnig er skilgreind kornadreifing sem skal uppfylla, sbr. töflu 4. Steypuna má líka nota í millilög, undirbygginguna og í fyllingar.

Tafla 3 Gæðaflokkar brotinnar steypu.

GÆÐA-FLOKKUR	STEYPUFLOKKUR EITT AF NEÐANGREINDUM GILDUM SKAL FULLNÆGT				HREINLEIKI			
	UPPGEFINN STYRKUR STEYPUNNAR		ÞRÝSTIÞOL KJARNA [MPA]	MICRO DEVAL	MAGN STEYPU, MINNSTA ÞYNGDAR- PRÓSENTA [%]	LEYFILEGT HÁMARKS- MAGN MÚRSTEINA ÞYNGDAR- PRÓSENTA* [%]	LEYFILEGT HÁMARKS- MAGN LÉTTSTEYPU ÞYNGDAR- PRÓSENTA** [%]	LEYFILEGT HÁMARKS- MAGN ANNARRA EFNA ÞYNGDAR- PRÓSENTA*** [%]
BROTIN STEYPA	C- GILDI [MPA]	K- GILDI [MPA]						
NR.								
1	≥ C 30/37	≥ K40	≥ 30	= 25	100	0	0	
2	≥ C 20/25	≥ K25	≥ 20	= 35	95	5	0,5	
3	≥ C 12/15	≥ K12	≥ 10	= 50	80	20	5	
4	-	-	-	-	50	50	50	

\* Þéttleiki jarðefna agna > 1,6 t/m<sup>3</sup>

\*\* Þéttleiki jarðefna agna < 1,6 t/m<sup>3</sup>

\*\*\* Önnur efni s.s timbur, plast, pappi og bik.

Svíar mæla ekki með því að nota brotna steypu í burðarlög vega, en fyrir því eru tvær megin ástæður: Brotin steypa getur verið næm fyrir upptöku salts og efnið getur verið viðkvæmt fyrir

háum spennum sem getur aukið líkur á sprungum. En einnig er burðarlag vega brotið finna og þá þarf að vinna steypuna meira og þá fellur til meira af fínefnum sem ekki geta farið í veginn. Hins vegar má vel nota efnið í burðarlag göngu- og hjólastíga. Til þess að geta notfært sér eiginleika efnisins til aukinnar burðargetu má þykkt lagsins ekki vera undir 150 mm, en burðarlög í Svíþjóð eru oft mun þynnri eða 80-100 mm á meðan styrktarlög eru mun þykkari eða minnst 420 mm. Ekki er mælt með því að nota efnið þar sem vænta má straums vatns eða hátt vatnsyfirboð s.s. við ræsi. Hins vegar er frostmótstaða efnisins góð við „náttúrulega“ rök skilyrði (Ydrevik & Arm, 2001).

Tafla 4 Kornakúrfa brotinnar steypu í burðarlag göngu- og hjólastíga og styrktarlög vega.

SIGTI MM	BURÐARLAG GÖNGU- OG HJÓLASTÍGA				STYRKTARLÖG VEGA			
	YTRI MÖRK [%]		INNRI MÖRK [%]		YTRI MÖRK [%]		INNRI MÖRK [%]	
0,063	2	7	3	6	-	7	-	6
0,25	4	14	6	12	-	14	-	12
1	10	28	13	25	-	28	-	25
4	20	50	25	45	2	50	10	45
16	46	90	56	79	14	90	26	79
31,5	64	-	75	98	28	-	42	98
45	80	-	90	-	35	-	50	-
63	98	-	-	-	43	-	-	-
90	-	-	-	-	90	-	-	-
125	-	-	-	-	98	-	-	-

### 2.3 Danmörk

Í Danmörku hefur danska vegagerðin (Vejdirektoratet) gefur út leiðbeinandi rit við gerð útboðsganga þar sem notuð er brotin steypa og múrsteinar til vegagerðar (Vejdirektoratet, 2011). Er leiðbeiningarritið gert til þess að gæði efnisins og framkvæmdarinnar verði eins og best verði á kosið. Efninu er skipt upp í fjóra flokka: KB (knust beton) brotin steypa og svo KBT I, II og III (knust beton og tegl) þar sem brotin steypa og múrsteinar er blandað saman. Mismunandi skilyrði eru gerð til kornadreifingar og hreinleika fyrir mismunandi flokka, en einnig er gerð krafa um styrk til hreinnar brotinnar steypu í KB. Fyrir KB efni má sýni af stærðinni 11,2/16 mm hafa hæsta LA gildi 40 þ.e.a.s. LA<sub>40</sub>.

Tafla 5 Kornadreifing fyrir KB (0/31,5 mm) og KBT I, skv. DS/EN 13285 skal efnið flokkast sem G<sub>C</sub>, OC<sub>75</sub>, UF<sub>7</sub> og LF<sub>2</sub>.

SIGTI MM	YTRI MÖRK [%]		INNRI MÖRK		FRÁVIK*
63	100	-	-	-	
31,5	75	99	-	-	
16	50	90	61	79	± 11
8	30	75	41	64	± 11
4	20	60	31	49	± 11
2	13	45	22	36	± 9
1	8	35	13	30	± 5
0,5	5	25	10	20	± 5
0,063	2	7	2	7	

\*Heimilt frávik frá völdum yfirlýstum gildum

SG I og SG II eru almennar kornadreifingar í Danmörku. Kornadreifing KB og KBT samsvara kornadreifingu SG I utan þess að fínefnainnihald má mest vera 7%, KBT hefur sömu kornadreifingu og SG II á meðan kornadreifing KGT III er valin þannig að allt umframefni brotinnar steypu og múrsteina sem markaðurinn framleiðir falli innan flokksins. Kornadreifingu efnanna má sjá í töflu 5 og brothlutfallið (*i*) í töflu 6.

Tafla 6 Brothlutfall *i* fyrir flokka KB og KBT I.

SIGTI MM	<i>i</i> MIN [%]	<i>i</i> MAX [%]
8 – 16	7	30
4 – 8	7	30
2 – 4	7	20
1 – 2	4	15

Þegar litið er til hreinleika skal efnasamsetning vera innan marka sem gefin eru í töflu 7. Magn leyfilegra aðskotaefna er breytilegt samhliða breyttum kröfum í Evrópustöðluðum. Greining skal fara fram á 4/63 mm sýni.

Tafla 7 Kröfur sem gerðar til efnasamsetningar brotinnar steypu og múrsteina.

SKAMSTÖFUN	FLOKKUR INNHALDSEFNI	INNHALD			
		KB	KBT I	KBT II	KBT III
$R_C + R_U + R_B$	BROTIN STEYPA, MÚR, ÖNNUR ÓBUNDIN OG BUNDIN STEINEFNI, MÚRSTEINAR, FLÍSAR, POSTULÍN, KALKSTEINN OG LÉTTSTEYPA	-	-	-	≥ 90%
$R_C + R_U$	BROTIN STEYPA, MÚR OG ÖNNUR ÓBUNDIN OG BUNDIN STEINEFNI	≥ 90%	≥ 80%	≥ 50%	-
$R_B$	MÚRSTEINAR, FLÍSAR, POSTULÍN, KALKSTEINN OG LÉTTSTEYPA	≤ 10%	≤ 20%	≤ 50%	-
$R_A$	MALBIK	≤ 1%	≤ 2%	≤ 2%	≤ 5%
$R_G$	GLER	≤ 2%	≤ 2%	≤ 2%	≤ 5%
X	LEIR, JARÐEFNI (EKKI GRÚS OG STEINN), MÁLMUR, GIFS, EKKI MEÐTALIÐ FLJÓTANDI TIMBUR, PLAST OG GÚMMÍ	≤ 1%	≤ 1%	≤ 1%	≤ 1%
FL	FLJÓTANDI AGNIR	≤ 5 CM <sup>3</sup> /KG	≤ 10 CM <sup>3</sup> /KG	≤ 15 CM <sup>3</sup> /KG	≤ 20 CM <sup>3</sup> /KG

Í Danmörku er mælt með því að nota brotna steypu í óbundin burðarlög, en þó verður að varast að því herra hlutfall múrsteina sem eru í efninu þeim mun meiri hætta er á niðurbroti efnisins á umferðamiklum vegum. Í töflu 8 má sjá efni sem mælt er með því að nota í mismunandi umferðarflokka.

Tafla 8 Samspil milli umferðarflokkunnar og efnisvals.

UMFERÐAFLOKKUR	ÁDU <sub>p</sub> (BÁÐAR ÁTTIR)*	KB	KBT I	KBT II	KBT III
T0	EINUNGIS LÉTTIR BÍLAR	X	X	X	X
T1	< 1	X	X	X	X
T2	< 75	X	X	X	
T3	75 - 150	X	X	X	
T4	150 - 600	X	X		
T5	600 - 1400	X			
T6	1400 - 2000	X			
T7	> 2000	X			
E-GILDI		350 MPa	250MPa	200 MPa	150 MPa

\* Vejregler, 2013.

Pihl o.fl. (2004) settu fram kröfur til brotinnar steypu nýtt í burðarlög vega í skýrslunni „Ubundne bærelag af knust beton, efter europæiske standarder“. Í skýrslunni er brotinni steypu (KB) skipt upp í 3 flokka: A, B og C, eins og sýnt er í töflu 9. Rannsóknir sem danska vegagerðin hefur gert benda til að LA-gildi brotinnar steypu sé á milli 28-42% á meðan hefðbundið danskt steinefni hefur LA-gildi í kringum 25%. Danir benda á aðrar aðferðir til þess að meta styrk og endingu efnis og hafa valið að styðjast við LA-gildið þegar kemur að styrk og Micro-Deval aðferðina þegar litið er til endingar. Hins vegar hafa þeir ekki nægjanlegar mælingar á Micro-Deval til þess að setja sértæk skilyrði á gildi.

Tafla 9 Efniseiginleikar fyrir flokka A, B og C brotinnar steypu í burðarlög vega og í hvaða umferðarflokka má nota mismunandi flokka.

	BROTIN STEYPA, EFNISEIGINLEIKAR		
	A	B	C
E-gildi [MPa]	400	300	200
Allir umferðarflokkar	x	x	
Umferðarflokkur 0, létt umferð, stígar og plön	x	x	x
Kornarstærðarbil	0/31,5	0/31,5	0/31,5
Yfirstærð (efra flokkunarsigtið)	OC <sub>75</sub>	OC <sub>75</sub>	OC <sub>75</sub>
Kornakúrfa	G <sub>C</sub>	G <sub>C</sub>	G <sub>E</sub>
Hámarks fínefnainnihald	UF <sub>5</sub>	UF <sub>7</sub>	UF <sub>9</sub>
Lágmarks fínefnainnihald	LF <sub>2</sub>	LF <sub>2</sub>	LF <sub>2</sub>
Styrkur efnis – LA gildi	LA <sub>35</sub>	LA <sub>40</sub>	LA <sub>NR</sub>
Magn steypu	≥ 98 %	≥ 95 %	≥ 80 %
Magn múrsteina	≤ 2,0 %	≤ 5,0 %	≤ 20 %
Magn malbiks	≤ 2,0 %	≤ 2,0 %	≤ 2,0 %
Magn óskaðlegra efna (gler, postulín, harðplast o.s.frv.)	≤ 2,0 %	≤ 5,0 %	≤ 20 %
Magn skaðlegra efna (timbur, pappír, einangrunarefni o.s.frv.)	≤ 0,5 %	≤ 1,0 %	≤ 2,0 %
Létt einangrun (polystyrene, polyurethan o.s.frv.)	≤ 0,02 %	≤ 0,02 %	≤ 0,02 %

Kornakúrfa flokka A og B er sú sama og sýnd eru í töflu 5 og tafla 6. Hins vegar eru gerðar minni kröfur til efnis í flokki C, sbr. töflu 10.

Tafla 10 Kornadreifing fyrir KB (0/31,5 mm) efni í flokki C. Brothlutfallið má vera á milli 5-35%.

SIGTI MM	MÖRK [%]	
63	100	-
31,5	75	99
16	50	90
8	30	75
4	15	60
1	2	35
0,063	2	9

Eins og á hinum Norðurlöndunum eru einnig gerðar kröfur um nákvæmni í útlögn, þjöppun og tíðni efnisprófanna, en ekki verður farið nánar í það hér.

## 2.4 Nýja Sjáland

Vegakerfi Nýja Sjálands er nokkuð víðfemt og aðallega byggt upp og viðhaldið með steinefnum úr námum. Hins vegar hafa neikvæð umhverfisáhrif námuvinnslu leitt til þess að lög hafa verið sett á námuvinnslu og almenningur er mótfallinn opnun nýrra náma. Vegna þessa hefur komið til þess að steinefni er flutt langar leiðir með aukinni umferð og kostnaði. Endurvinnsla og endurnýting efna hefur þess vegna aukist til muna og er endurunninn brotin steypa eitt af efnunum sem litið hefur verið til og notað í auknum mæli. Verið er að gera töluvert af rannsóknum á endurunninni brotinni steypu þar sem krafan um að nýta efnið í vegagerð er alltaf að aukast og viðskiptavinir/notendur því farnir að krefjast meiri upplýsinga um uppruna efnisins.

Talið er að kostnaður við notkun endurunninnar steypu sé ekki meiri heldur en þegar steinefni er notað úr námum sé tekið tillit til þess kostnaðar sem hlýst af því að urða steypuna og setja í landfyllingar. En kostnaður við urðun fer eftir eðli steypunnar þar sem efnasamsetning hennar gefur til kynna hversu mikla meðhöndlun hún þarf fyrir urðun (Slaughter, 2006).

Í dag er brotin steypa notuð í burðar- og styrktarlög vega, og hefur Nýsjálenska vegagerðin skilgreint brotna steypu í leiðbeiningarritum sínum (Phua o.fl., 2016). Í TNZ M/4: 2006 (Transit New Zealand, 2006) er RCC eða endurunninn brotin steypa skilgreind sem burðarlagsefni. Eins og í öðrum löndum eru gerðar kröfur til kornadreifingar, styrks, efnasamsetningar og endingar.

### 3 UMHVERFISLEGUR ÁVINNINGUR

Umhverfismálin eru meðal stærstu áskoranna sem mannkynið stendur frammi fyrir í dag. Þjóðir heims hafa sameinast í Parísarsamkomulaginu um að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda á heimsvísu. Ísland stefnir á markmið Evrópusambandsins (ESB) sem er um 40% minni nettó losun gróðurhúsalofttegunda fyrir árið 2030 samborið við árið 1990 (UNFCCC, 2016). En einnig er markið sett á kolefnishlutlaust Ísland fyrir árið 2040 (Stjórnarráð Íslands, 2017, 2018).



Mynd 2 Vistferill mannvirkis.

Hægt er að meta hversu mikil gróðurhúsaáhrif tiltekin vara, mannvirki eða þjónusta veldur með því að reikna út svokallað *kolefnisspor* (e. Carbon Footprint). Kolefnisspor tiltekins mannvirkis er reiknað út sem *hnatthlýnunarmáttur* (e. Global Warming Potential, GWP) vegna losunar gróðurhúsalofttegunda yfir allan vistferil mannvirkisins. *Vistferill* (e. Life Cycle) er í þessu tilfalli ferill mannvirkis frá vöggu til grafar, þ.e. hann nær frá öflun hráefna og framleiðslu byggingarefna, byggingu og rekstri yfir allan líftíma mannvirkis allt til niðurrifs,

förgunar og endurvinnsla eins og sýnt er á mynd 2. Æskilegast er að „loka hringnum“ með því að endurnota og endurvinna byggingarefni í stað þess að farga þeim. Endurvinnsla og endurnotkun kemur í staðinn fyrir framleiðslu nýrra byggingarefna og dregur þannig einnig úr auðlindanotkun og framleiðslu byggingarefna.

Sú hugmyndafræði sem miðar að því að „loka hringnum“ hefur verið kölluð *hönnun „frá vöggju til vöggju“* (e. Cradle to Cradle Design). Þá er leitast við að hanna vöru eða kerfi þannig að hægt sé að endurvinna sem mest af henni og við lok líftíma hennar verði sem minnstur eða enginn úrgangur eftir (EPEA, 2018). Með þeim hætti er ekki gengið á auðlindir jarðar.

### **3.1 Samanburður á kolefnisspori endurunninnar steypu og steinefnis í burðarlög vega**

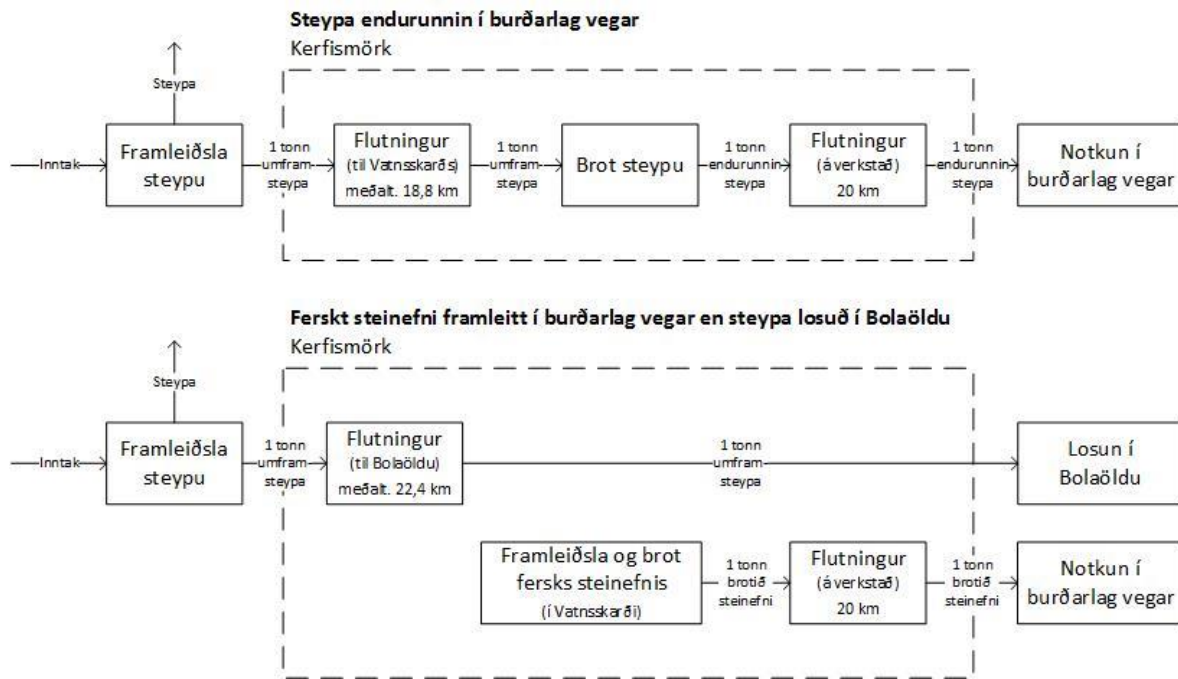
Kolefnisspor og vistspor vöru, mannvirkis eða þjónustu er metið með aðferðarfræði *vistferilsgreiningar* (e. Life Cycle Assessment, LCA) þar sem metin eru umhverfisáhrif yfir allan vistferilinn. Nokkrar vistferilsgreiningar hafa verið gerðar til að meta vists- og kolefnisspor steyptra íslenskra mannvirkja og þegar kemur að losun gróðurhúsalofttegunda í vistferli mannvirkisins þá var steypa einn af stærstu þáttunum (EFLA, 2014; 2017; 2018). Það er til mikils að vinna og sérstaklega áhugavert að kanna hvort það sé umhverfislega hagkvæmt að endurvinna steypu.

#### **3.1.1 Markmið og umfang samanburðar**

Í þessu verkefni er til skoðunar endurvinnsla umframsteypu sem til fellur á steypustöðvum. Gera má ráð fyrir að um 5% af heildarframleiðslunni séu ekki nýtt og fari í losun á efnistökusvæði í Bolaöldu við rætur Vífilfells. Hér er fyrsta athugun þar sem kannað er hvort umhverfislegur ávinningur sé af því að flytja umframsteypu í Vatnsskarðsnámur, brjóta hana niður og nota í burðarlag vega í staðinn fyrir steinefni úr námu. Ekki er um að ræða fulla vistferilsgreiningu en samanburðurinn byggir þó á vistferilshugsun.

Kerfismörk samanburðarins eru sýnd á mynd 3 en þar eru tvær sviðsmyndir. Gengið er út frá því að framleiðsla steypunnar liggja utan kerfismarka þar sem tilgangur framleiðslunnar er bygging mannvirkis og steypuafgangarnir eru aukaafurð þess ferlis. Í efri sviðsmyndinni er reiknað með því að umframsteypa sé flutt í Vatnsskarðsnámur þar sem hún er brotin niður og síðan flutt á verkstað til notkunnar í burðarlag vegar. Neðri sviðsmyndin lýsir núverandi ástandi en þá er umframsteypa flutt í Bolaöldu og losuð þar. Í þeirri sviðsmynd þarf að framleiða steinefni úr námu í burðarlag vegar sem endurunna steypan væri annars notuð í. Til einföldunar er reiknað með því að steinefni sé sótt í Vatnsskarðsnámur, þ.e.a.s. á sama stað og mölun steypunnar myndi eiga sér stað. Vegalengdin sem steypan er flutt, þ.e. í Vatnsskarðsnámur og í Bolaöldu, er reiknuð sem meðaltal af fjarlægð frá Steypustöðinni við Hringhelli 2 í Hafnarfirði og Malarhöfða 10 í Reykjavík sem og frá BM-Vallá við Breiðhöfða 3 í Reykjavík.





Mynd 3 Kerfismörk samanburðar á kolefnisspori annars vegar fyrir endurvinnslu steypu í burðarlag vegar og hins vegar framleiðslu steinefnis í námu í burðarlag og losun steypu í Bolaöldu. Kerfismörk eru sýnd með punktalínu.

Fyrir báðar sviðsmyndir er notkunin látin falla utan við kerfismörk, enda ætti hún að vera nokkuð svipuð fyrir endurunna steypu og steinefni úr námu. Þó gæti verið að burðarlag með enduruninni steypu sé sterkara og endingarbetri heldur en hefðbundið burðarlag með steinefni. Þar að auki gætu þykktir laga í uppbyggingu vegarins breyst vegna aukins styrks en heildarþykkt vegarins yrði sennilega sambærileg. Taka þyrfti tillit til þessa ef farið verður í fulla vistferilsgreiningu fyrir endurvinnslu steypu í burðarlög vega. Til einföldunar er í þessum samanburði reiknað með að sama magn af enduruninni steypu og steinefni úr námu þurfi í burðarlagið.

Í vistferilsgreiningum fyrir mannvirki eru umhverfisáhrifin sett í samhengi við svokallaða *aðgerðareiningu* (e. functional unit). Aðgerðareining er mikilvæg forsenda þess að geta borið saman mismunandi sviðsmyndir eða niðurstöður mismunandi vistferilsgreininga. Hún þarf að lýsa hlutverki mannvirkisins með tölulegum hætti þ.a. hægt sé að bera saman umhverfisáhrif ólíkra mannvirkja eða sviðsmynda. Í þessum samanburði var valin aðgerðareiningin 1 tonn af framleiddu burðarlagsefni. Einnig kæmi til greina að byggja aðgerðareininguna á styrk eða öðrum eiginleikum ólíkra steinefna en þá þyrfti að skoða það nánar í fullri vistferilsgreiningu.

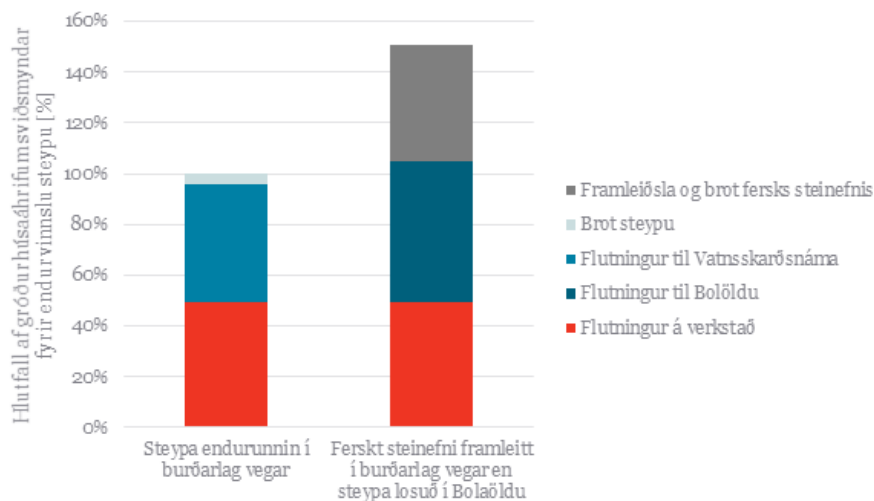
Framleiðsla steypu losar mikinn koltvísýring ( $\text{CO}_2$ ), meðal annars vegna efnahvarfa í framleiðslu sements. Það efnahvarf gengur síðan smátt og smátt til baka þegar steypa eldist sem gerir það að verkum að steypa bindur  $\text{CO}_2$  úr andrúmsloftinu þegar hún eldist. Með því að brjóta steypuna þá er yfirborðsflatarmál hennar aukið sem eykur hraða efnahvarfsins. Því mætti færa rök fyrir því að steypa bindi  $\text{CO}_2$  hraðar ef hún er brotin niður og endurnýtt borið

saman við losun eða urðun í stærri einingum. Ekki var reiknað með þessum umhverfislega ávinningi í samanburðinum en mætti taka tillit til í ítarlegri vistferilsgreiningu.

Hugbúnaðurinn *GaBi* var notaður til að stilla upp samanburðinum en þessi búnaður er sérsniðinn fyrir vistferilsgreiningar (GaBi, 2018). Notaðar voru upplýsingar um umhverfisáhrif ferla úr *Ecoinvent* gagnagrunninum (Ecoinvent, 2018).

### 3.1.2 Niðurstöður samanburðar

Á mynd 4 eru niðurstöður samanburðar á kolefnisspori annars vegar fyrir endurunna steypu í burðarlög vega og hins vegar fyrir náttúrulegt steinefni í burðarlög vega og losun umframsteypu í Bolöldu. Seinni sviðsmyndin gefur u.þ.b. 50% herra kolefnisspor og er það aðallega vegna framleiðslu steinefnis með tilheyrandi losun gróðurhúsalofttegunda. Sú losun er fólgin í orkunotkun við vélavinnu, flutninga á efnistökusvæði og uppbyggingu innviða fyrir efnisvinnslu. Kolefnisspor vegna flutninga er svipað, enda er reiknað með álíka miklum flutningi í báðum sviðsmyndum eða 38,8 km fyrir endurvinnslu steypu og 42,4 km fyrir framleiðslu steinefnis og flutning steypu á tipp.



Mynd 4 Samanburður á gróðurhúsaáhrifum tveggja valkosta, að urða steypu eða endurvinnna steypu.

Af þessu má draga þá ályktun að í samanburði við núverandi ástand þá sé það umhverfislega hagkvæmara að endurvinnna steypu í burðarlög vega. Þessi samanburður er fyrsta athugun á umhverfislegum ávinningi af endurvinnslu steypu en rétt er að áréttu að í þessum samanburði voru ýmsar nálganir og einfaldanir gerðar. Einungis var stuðst við upplýsingar úr *Ecoinvent* gagnagrunninum sem byggir að miklu leyti á svissneskum aðstæðum og því þyrfti að ganga úr skugga um hvort gildin fyrir efnisbrot og efnisvinnslu eigi einnig við á Íslandi. Því er lagt til að í framhaldinu verði gerð full vistferilsgreining þar sem umhverfisáhrif eru skoðuð með ítarlegri hætti.

## 4 KRÖFUR TIL BURÐARLAGS Á ÍSLANDI

Innlendar leiðbeiningar og skýrslur um efnisvinnslu og prófanir steinefna til vegagerðar voru hafðar að leiðarljósi við framleiðslu efnisins. Kröfur sem tilgreindar eru í leiðbeiningarritum Vegagerðarinnar voru bornar saman við melda efnisstuðla brotnu steypunnar (Ásbjörn Jóhannesson o.fl., 2010; Vegagerðin 2012 & 2016; Hafdís Eygló Jónsdóttir og Gunnar Bjarnason, 2013; 2018).

Ákveðið var að steypuafgangarnir yrðu brotnir niður í 0/22 mm kornastærð en ekkert mælir gegn því að hafa brotið grófara. Efnið var síðan prófað á rannsóknarstofu EFLU til að kanna eiginleika þess til notkunar í burðarlag vegna, bæði óbundin sem og sementsbundin. Hér að neðan eru listaðar þeir eiginleikar sem litið var til. Lágmarksgildi fyrir mismunandi árdagsumferð þungra ökutækja ( $\text{ÁDU}_p$ ) má sjá hér að neðan (Vegagerðin, 2016).

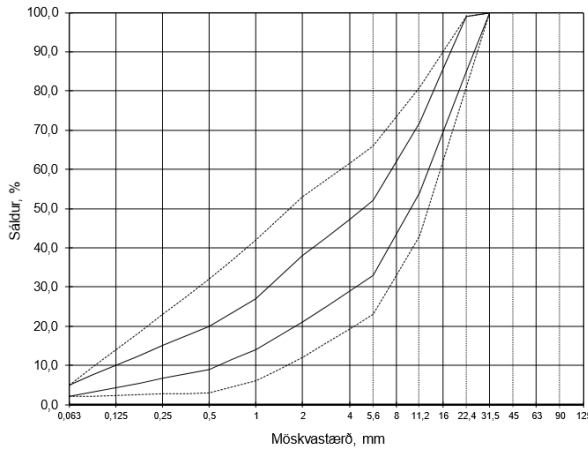
### 4.1 Kornadreifing

Kröfur til kornadreifingar óbundinna burðarlagsefna miðast við staðalinn ÍST EN 13285 „Unbound mixtures – Specification”, þar sem neðri flokkunarstærðin er  $d=0$  mm og efri flokkunarstærðin er  $D=X$  mm. Í þessu verkefni var valið að brjóta efnið niður í  $d = 0$  mm /  $D = 22$  mm eða 0/22 mm efni. Á mynd 5 má sjá marklínur Vegagerðarinnar fyrir malað berg sem nota á í burðarlög.

Sementsbundin burðarlög eru notuð á umferðarmeiri vegi. Á mynd 6 eru viðmið sem sett eru fram í sama riti Vegagerðarinnar varðandi sementsfest burðarlög. Á myndinni eru marklínur fyrir sementsfest burðarlög, A og B. Æskilegast er að efnið lendi innan marklínu A efnisins en efni innan marklínu B efnisins má einnig nota. Í því tilfalli þarf heldur meira sementsmagn til festunar.

Malað berg Stærðarflokkur: 0/22  
Kröfuflokkur: G<sub>p</sub> OC<sub>85</sub> LF<sub>2</sub> UF<sub>5</sub>

ÍST\_EN 13285, markalínur



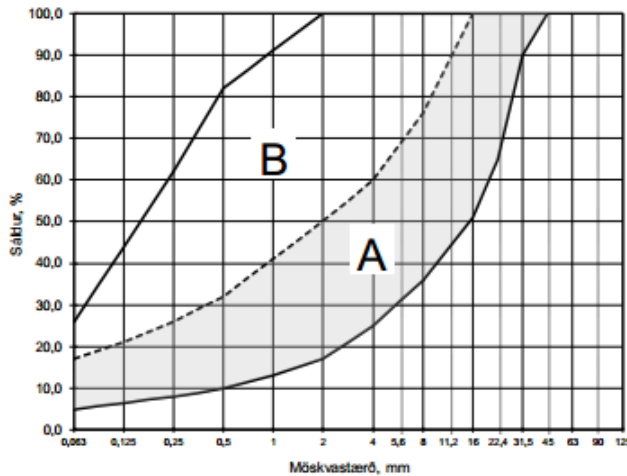
Stærðarflokkur: 0/22  
Kröfuflokkur G<sub>p</sub> OC<sub>85</sub> LF<sub>2</sub> UF<sub>5</sub>

Sigti	Ytri mörk		Inni mörk	
	2	5	2	5
0,063				
0,125	2	14	4	10
0,25	3	23	7	15
F 0,5	3	32	9	20
E 1	6	42	14	27
C 2	12	53	21	38
B 4	19	62	29	47
	5,6	23	66	52
	8	33	74	62
A 11,2	43	81	54	72
	16	62	90	86
	22,4	81	99	99
31,5	100	100	100	100
45				
63				
90				
125				

Mynd 5 Markalínur fyrir malað 22 mm berg í burðarlag (Vegagerðin, 2016).

Sementsfestun Stærðarflokkur 0/32  
Kröfuflokkur: LF5 UF26

Með hlífðun af:  
Hámbok N200, Vegbygging  
Útgáfa í september 2014



Sementsfestun  
Stærðarflokkur 0/32  
Kröfuflokkur: LF5 UF26

Sigti	Mörk	Víðmál
0,063	5	26
0,125	7	44
0,25	8	62
0,5	10	82
1	13	91
2	17	100
4	25	100
5,6	31	100
8	36	100
11,2	44	100
16	51	100
22,4	65	100
31,5	90	100
45	100	100
63		
90		
125		

Mynd 6 Marklínur steinefnis fyrir sementsfest burðarlög (Vegagerðin, 2016).

## 4.2 Kornalögun

Kröfur til kornalögunar steinefna í burðarlög koma fram í töflu 11 (Vegagerðin, 2016). Prófið er gert skv. staðli ÍST EN 933-3, sem gerir ráð fyrir að lögun sé mæld á stærðarflokkum frá 4 / 80 mm. Hérlandis hefur þó oft verið miðað við að mæla á 4 / 31,5 mm sýnum, þrátt fyrir að stundum sé um grófara efni að ræða. Kleyfnistuðullinn (flakiness index), FI<sub>x</sub>, má að hámarki vera X %.

Tafla 11 Kröfur til kornalögunar steinefna í buðarlög (Vegagerðin, 2016).

FJÖLDI ÞUNGRA ÖKUTÆKJA, ÁDU <sub>p</sub>	FLOKKUN SKV. ÍST EN 13242 KLEFNIÐSTUÐULL, %
≥ 400	Fl <sub>20</sub>
≥ 100	Fl <sub>25</sub>
≥ 10	Fl <sub>30</sub>
< 10	Fl <sub>35</sub>

### 4.3 Styrkleikapróf

Styrkleikapróf eru framkvæmd skv. staðli ÍST EN 1097-2, á 10-14 mm steinefni. Kröfurnar sem gerðar eru fyrir burðarlög koma fram í töflu 12. Evrópustaðallinn sem notaður er til að meta styrk steinefna, er LA gildi eða Los Angeles gildi.

Tafla 12 Kröfur fyrir styrkleika steinefna í burðarlög (Vegagerðin, 2016).

FJÖLDI ÞUNGRA ÖKUTÆKJA, ÁDU <sub>p</sub>	LA FLOKKUN SKV. ÍST EN 13242	
	EF 3.FLOKKS EFNI SKV. BERGGREININGU ER MJÖG UMMYNDAD LA GILDI, %	EF 3.FLOKKS EFNI SKV. BERGGREININGU ER FERSKT, FÍNBLÖÐRÓTT BASALT LA GILDI, %
	≥ 400	LA <sub>20</sub>
≥ 100	LA <sub>20</sub>	LA <sub>30</sub>
≥ 10	LA <sub>25</sub>	LA <sub>35</sub>
< 10	LA <sub>25</sub>	LA <sub>40</sub>

### 4.4 Berggreining

Í töflu 13 má sjá leiðbeinandi kröfur Vegagerðarinnar um leyfilegt magn steinefna í 3. gæðaflokki fyrir burðarlögsefni. Kröfurnar sem settar eru fram miða við greiningu á sýni með 5,6-11,2 mm steinefni. Þegar verið er að skoða burðarlögsefni eru tvenns konar kröfur gerðar um leyfilegt magn 3. flokks efnis. Þetta er gert þar sem ummynduð bergbrigði eru talin mun óæskilegri fyrir burðarlög en ferskt berg. Vegna þessa eru gerðar rýmri kröfur til ferskra efna en ummyndaðra, þrátt fyrir að þau geti verið fínblöðrótt og því auðbrjótanlegri undan álagi.

Tafla 13 Leiðbeinandi kröfur um leyfilegt magn steinefna í 3.flokki (Vegagerðin, 2016).

FJÖLDI ÞUNGRA ÖKUTÆKJA, ÁDU <sub>p</sub>	HLUTI SÝNIS (%) Í 3. GÆÐAFLOKKI SAMKVÆMT BERGGREININGU*	
	MJÖG UMMYNDAD EFNI, % Í 3.FLOKKI	FERSKT, FÍNBLÖÐRÓTT EFNI, % Í 3.FLOKKI
≥ 400	≤ 7	≤ 12
≥ 100	≤ 10	≤ 20
≥ 10	≤ 15	≤ 30
< 10	≤ 15	≤ 30

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

#### 4.5 Brothlutfall

Brothlutfall steinefnis er mælt á flokkuðu sýni samkvæmt ÍST EN 933-5. Kröfur sem gerðar eru til brothlutfalls steinefnis í burðarlögum vega má sjá í töflu 14. Brothlutfallið,  $C_{X/Y}$ , merkir að meira (eða jafnt og) X % efnisins skal vera brotið, en minna en (eða jafnt of) Y % má vera alnúið. Steinefnakorn telst vera brotið ef minnst helmingur yfirborðs þess er brotið. Ef steinefni er fengið úr sprengdu bergi telst það uppfylla kröfuflokk C100/0, og þarfnast þá ekki prófunnar (ÍST EN 13242).

Tafla 14 Kröfur sem gerðar eru á brothlutfalli steinefna í burðarlög vega (Vegagerðin, 2016).

FJÖLDI ÞUNGRA ÖKUTÆKJA, ÁDU <sub>p</sub>	MALAÐ SET, FLOKKUN SKV. ÍST EN 13242 BROTHLUTFALL, %	MALAÐ BERG, FLOKKUN SKV. ÍST EN 13242 BROTHLUTFALL, %
≥ 400	C <sub>50/10</sub> *	C <sub>90/3</sub>
≥ 100	C <sub>50/10</sub> *	C <sub>90/3</sub>
≥ 10	C <sub>50/30</sub>	C <sub>50/10</sub> *
< 10	C <sub>NR/50</sub>	C <sub>50/10</sub> *

\* Hér er að auki gerð krafa um að 30 til 100 % þess efnis sem flokkast brotið sé albrotið. NR merkir engin krafa.

#### 4.6 Húmus / þjálmi

Efni sem nota á í burðarlag skal vera laust við lífræn óhreinindi og má ekki flokkast sem þjálmt efni. Yfirleitt er sjónmat látið nægja til að meta hvort lífrænt efni sé innan marka og þjálmi efnisins. Ef vafi leikur á magni lífrænna óhreininda skal prófa efnið samkvæmt ÍST EN 1744-1. Ef fínefnismagn efnisins er minna en 3% þarf ekki að prófa þjálmi efnisins.

#### 4.7 Frostþolspróf

Kröfur sem gerðar eru til frostþols steinefna sem nota á í burðarlög vega eru sýnd í töflu 15, þar sem EC í F<sub>EC</sub> stendur fyrir „extreme conditions“ eða öfgakenndar aðstæður. Miðað er við að prófið sé framkvæmt á 8-16 mm steinefnasýni í saltlausn samkvæmt ÍST EN 1367-6. Einungis þarf að framkvæma frostþolspróf ef of mikið af steinefnakornum lenda í flokki 3 í berggreiningu.

Tafla 15 Kröfur fyrir frostþolspróf fyrir steinefni í burðarlög (Vegagerðin, 2016).

FJÖLDI ÞUNGRA ÖKUTÆKJA, ÁDU <sub>p</sub>	FLOKKUN SKV. ÍST EN 13242 FROSTÞOLSGILDI, %
≥ 400	F <sub>EC8</sub>
≥ 100	F <sub>EC14</sub>
≥ 10	F <sub>EC14</sub>
< 10	F <sub>EC25</sub>

## 5 VINNSLA EFNIS

Í þessu rannsóknaverkefni voru tekin tvö fersk steypuafgangssýni. Það fyrra var tekið haustið 2016 og það síðara síðsumars 2018. Steypuafgangarnir sem voru notaðir komu frá Steypustöðinni hf sem staðsett er á höfuðborgarsvæðinu. Steinefnaframleiðandinn Vatnsskarðsnámur Alexander Ólafsson ehf. og Loftorka í Borgarnesi sáu um að vinna efnið. Markmiðið var að athuga hvort efnið uppfyllti kröfur Vegagerðarinnar til notkunnar í burðarlög vega.

Þess má geta að talið er betra að koma umfram steypunni í mót áður en tromla steypubílsins er þvegin. Með því móti er talið auðveldara að vinna efnið án þess að fást við mikil fínefni. En algengt er að setja töluvert af vatni saman við afganga í tromlunni til þess að flýta fyrir þrifum þegar komið er til baka í stöð. Einnig er líklegt að minna vatn blandist saman við efnið á meðan það er geymt fram að broti.

### 5.1 Haustið 2016 – sýni 1

Efni var tekið úr haug frá Steypustöðinni og flutt í Vatnsskarðsnámur. Tiltölulega þurrt var í veðri og gekk vel að vinna efnið. Efnið var fyrst forbrotið í kjaftbrjót (Metso LT 120) (mynd 7). Því næst var það stærðarflokkað í hörpu og fór þaðan yfir í kónbrjót (Metso LT 330) (mynd 8). Að lokum fór efnið aftur yfir í hörpu. Engin fínefni voru tekin undan í vinnslunni. Efnið var brotið niður í 0/22 mm stærð, en töluvert fínefni var sjáanlegt. Efnið límdist töluvert saman sem gefur til kynna eitthvað magn óhvarfaðs sements. Sýni úr prufuvinnslu steypuafgangana var sett í stórt fiskikar og farið með á rannsóknarstofu EFLU þar sem efniseiginleikar efnisins voru kannaðir.





Mynd 7 Efnið var fyrst forbrotið í kjaftbrjót Metso LT 120.



Mynd 8 Síðan fór efnið í kónbrjót Metso LT 330.

## 5.2 Síðsumars 2018 – sýni 2

Tekið var efni úr steypueiningum sem höfðu skemmst í framleiðslu, en talið var að bera mætti það saman við umframefni sem sett væri í mót við komu í stöð. Efnið var framleitt af Steypustöðinni og brotið hjá Loftorku í Borgarnesi. Steypustyrkur efnisins sem var brotið var frá C35 til C50. Eftir að efnið var brotið var sýni sent á rannsóknarstofu EFLU þar sem efniseiginleikar þess voru kannaðir.

Efnið var brotið í 0/22 mm efni og var uppstillingin á tækjabúnaðinum eftirfarandi: forbrjótur (Metso LT 105), harpa (Metso ST 352) og kastbrjótur (Metso LT 1312). Fínefni voru tekin undan á forhörfu. Efnið leit mjög vel út, ekki var mikið um fínefni þar sem þau voru tekin undan og efnið límdist ekki saman eins og fyrra sýnið.



## 6 NIÐURSTÖÐUR PRÓFANA

Í þessum kafla verður gerður samanburður á niðurstöðum prófana á endurunninni steypu sem notuð er í verkefninu og þeirra krafna sem fjallað var um í kafla 4 hér að framan. Íslenska Vegagerðin hefur ekki sett fram efniskröfur vegna endurunninnar steypu eins og nágrannaþjóðirnar hafa gert og þess vegna verða niðurstöðurnar einnig bornar saman við kröfur sem gerðar eru af norsku vegagerðinni (Statens Vegvesen 2014). Þá verður að taka fram að ekki er hægt að mæla Micro-Deval gildi á Íslandi en gerð er krafa um það í norsku handbókunum og hins vegar að Norðmenn nota brotna steypu í styrktar- og burðarlög göngu- og hjólastíga. Þar sem margar þjóðir leyfa brotna steypu í burðarlög og Evrópustaðlarnir gera ráð fyrir að nota megi efni burt séð frá uppruna svo lengi sem það standist efniskröfur þá er brotna steypa í þessu verkefni borin saman við hefðbundið burðarlagsefni enda benda efniseiginleikar hennar til þess að full ástæða sé til að nýta efnið þar sem álag er mikið.

Þær prófanir sem gerðar voru á efninu voru kornadreifing, kornalögun og LA próf. Ekki var talin þörf á því gera berggreiningu, brothlutfall, húmus og þjálmi þar sem fylliefnin í steypunni hefur þegar verið prófað og staðist kröfur.

- Steypa sem var endurunnin í verkefninu kom af höfuðborgarsvæðinu og má þess vegna ganga að því vísu að steinefnið sem notast var við í steypunni hafi verið ferskt nokkuð blöðrótt basalt.
- Í byggingarreglugerð eru gerðar kröfur um að í berggreiningu fylliefnis í steinsteypu falli að hámarki 10% af efninu í 3 flokk skv. ÍST EN 932-3.
- Steinefni sem notað er til steinsteypuframleiðslu skal vera laust við lífrænar leifar og má ekki vera þjálft og þess vegna var ekki talin þörf á að meta það sérstaklega. Við sjónmat sáust engar lífrænar leifar sem og efnið virtist vera laust við þjálmi.
- Einungis þarf að framkvæma frostþolspróf ef 3.flokks efni berggreiningar er aðallega mjög ummyndað basalt og stenst ekki gæðaflokkun. Þess háttar steinefni væri ekki hæft til notkunnar í steinsteypu, en fylliefni sem notað er í steypuna er engu að síður frostþolsprófað.

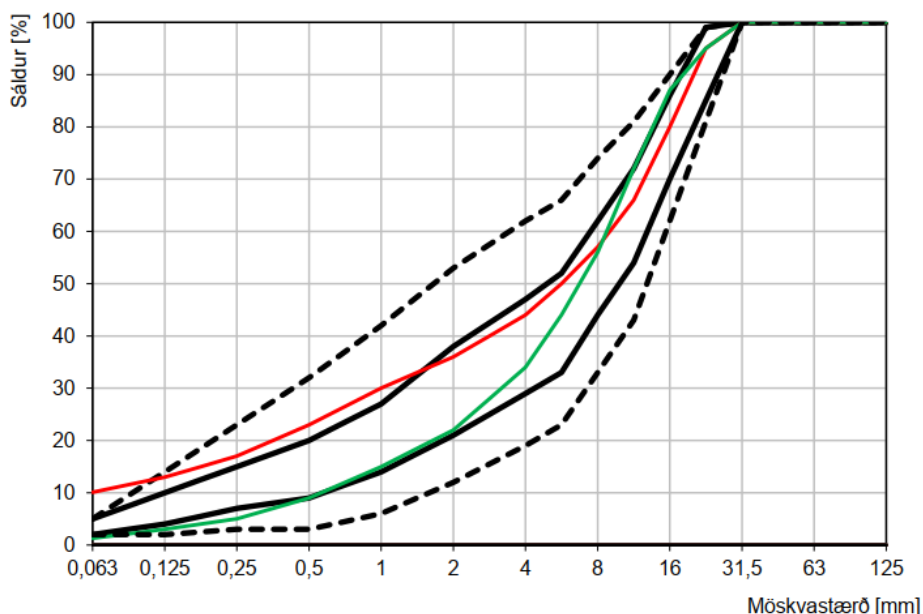
- Þar sem verið var að prófa ferska brotna steypu voru engin utanaðkomandi aðskotaefni og efnagreining því ekki nauðsynleg. Niðurstöðublöð rannsóknarstofu eru í viðauka A.

Í byggingarreglugerð eru gerðar kröfur um að í berggreiningu fylliefnis í steinsteypu falli að hámarki 10% af efninu í 3. flokk skv. ÍST EN 932-3.

Þau fylliefni sem notuð voru í steypuna í þessu verkefni eru CE merkt, þ.e.a.s. prófuð í samræmi við ÍST EN 12620 og ÍST 76:2013.

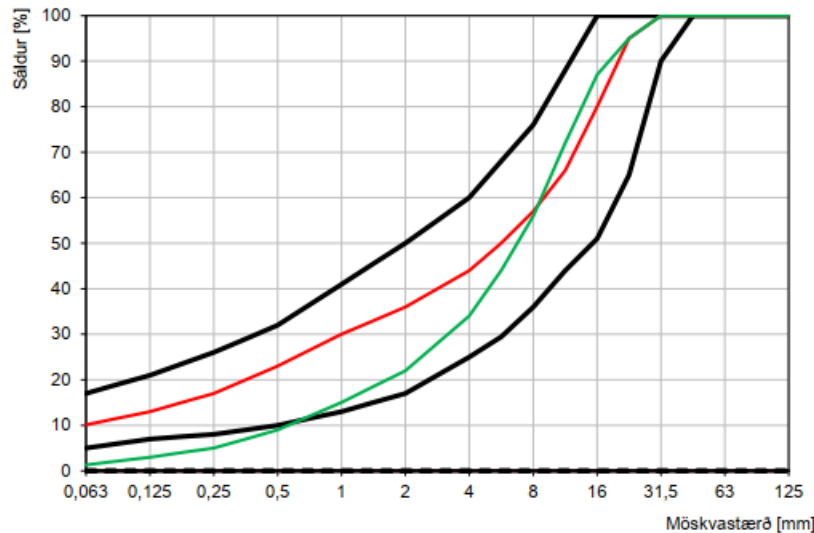
## 6.1 Kornadreifing

Við prófun á kornadreifingu var farið eftir staðlinum ÍST EN 933-1. Kornadreifingu efnanna má sjá á mynd 9 (skv. ÍST EN 13285), þar sést að efnin falla innan ytri marklína fyrir 0/22 mm malað berg utan þess að fínefnainnihald sýnis 1 er of hátt eða 10,1% og sýnis 2 í lægri kantinum eða 1,3%. Það sama á við ef litið er til norsku handbókarinnar.



Mynd 9 Niðurstöður kornadreifingar á endurunninni steypu – sýni 1 (rautt) og sýni 2 (grænt) ásamt innri (heil) og ytri (brotin lína) markalínunum fyrir 0/22 mm malað berg í burðarlög.

Ef efnið er hins vegar borið saman við kornadreifingu fyrir sementsbundin burðarlög, mynd 10, þá fellur sýni 1 innan flokks A en sýni 2 er á mörkunum að falla innan flokks A þar sem fínefnainnihald er of lítið. Í sementsbundnum burðarlögum má fínefnainnihald vera töluvert hærra en í óbundnum burðarlögum eða á bilinu 5-26%. Einnig er mögulegt að nota minna sementsmagn þar sem eitthvað er af óhvörfuðu sementi í efninu.



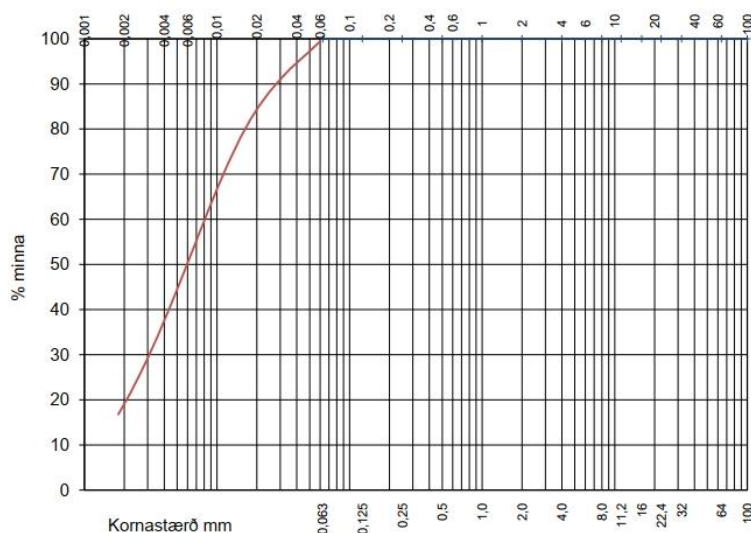
Mynd 10 Niðurstöður kornadreifingar á endurunninni steypu – sýni 1 (rautt) og sýni 2 (grænt) ásamt markalínum A fyrir sementsfest burðarlög.

Sigtun:

mm	100	64	32	22,4	16	11,2	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Mæling í ljörvatæki felld að sáldurprösentu við 0,063 mm:

µm	350	294	246	206	174	146	122	102	86	72	60	µm	2	20
%											99,4	%	19,1	84,3
µm	50	42	36	30	25	21	18	15	12	10	8,6	%	d10	d80
%	97,2	95,3	93,4	91,0	88,3	85,3	82,3	78,1	72,1	66,7	62,0	µm	(-)	8,1
µm	7,4	6,2	5,2	4,4	3,6	3	2,6	2,2	1,8	Leirhlutfall %				
%	57,1	51,4	45,7	40,4	34,4	29,2	25,4	21,3	16,8	<2 µm / <83 µm ~19				



Mynd 11 Mæling á fínefnahluta (<0,063 mm) endurunninnar steypu með Ljörva – sýni 1.

Þegar fínefnahlutfall er of hátt, eins og í sýni 1 sem var 10,1%, þá er nauðsynlegt að senda sýnið í Ljörva og/eða í flotvogarpróf en þau próf eru gerð til að átta sig á hvaða fínefni séu til staðar í efninu, þ.e. mismunandi leirstærðir. Í þessu tilfalli er talið betra að setja efnið í ljörva og var gerð mæling á kornadreifingu fínefnahlutans, þ.e. efni sem var undir < 0,063 mm.

Á mynd 11 má lesa að í þessu tilfelli eru um 84% fínefnisins undir 0,02 mm sem er mjög mikið. Kornastærðin 0,02 mm er notuð sem viðmið þegar litið er til frostnæmis sýna í vegagerð. Um 19% eru af kornastærðinni minna en 0,002 mm, sem er hættulegur leir. Kornastærð sements er 1-100  $\mu\text{m}$ , þannig að mögulega er hluti fínefnisins óhvarfað sement.

Hátt fínefnahlutfall var einungis í sýni 1 en í sýni 2 var fínefni tekið undan á forhörrpu og endaði efnið með of lítið fínefni eða einungis 1,3%. Það er því ljóst að í vinnslunni þarf að stilla af kúrfuna og undantektina þegar efnið er malað. Fínefnahlutfall verður að öllum líkindum minna ef efnið er malað í grófari flokk.

## 6.2 Kornalögun

Efnið var prófað skv. staðli ÍST EN 933-3 á efni > 4 mm. Kleyfilstuðullinn mældist  $FI_5$  eða 5% á sýni 1 og  $FI_6$  eða 6% á sýni 2. Þessi gildi eru vel innan þeirra marka sem Vegagerðin setur sem og norska handbókin. Krafa á umferðar þyngstu vegunum er að kleyfnistuðullinn sé minni en 20% eða  $FI_{20}$ .

Samkvæmt norsku handbókinni þarf kleyfnistuðullinn að vera undir 35 fyrir burðarlög í göngu- og hjólastíga. Þetta efni fellur vel innan þeirra marka.

## 6.3 Styrkleikapróf

Prófunaraðferðin til að meta styrk efnisins var Los Angeles. Sýni 1 reyndist hafa LA-gildi rétt innan við 25%, eða  $LA_{24,8}$  og sýni 2 rétt yfir eða  $LA_{25,3}$ . Fyrir umferðarmestu vegi landsins má LA-gildið vera að hámarki 25% ef 3.flokks efni samkvæmt berggreiningu er ferskt, fínblöðrótt basalt eins og við erum með hér. Efnið uppfyllir kröfur um  $LA_{30}$  fyrir vegi með  $\text{ÁDU}_p \geq 100$ .

Samkvæmt norsku handbókinni þarf LA-gildið að vera undir 35 í styrktarlög og undir 40 fyrir burðarlög í göngu- og hjólastíga. Þetta efni fellur vel innan þeirra marka.

## 7 LOKAORÐ

Ljóst er að á næstu árum verður endurvinnsla og endurnýting stöðugt mikilvægari, bæði til þess að forðast aukna efnisvinnslu sem og til að minnka urðun og landfyllingar. Athyglisvert er að sjá að brotin steypa hefur verið skilgreint sem efni til vegagerðar af Vegagerðum hinna Norðurlandanna utan Íslands. Hlutfall steypu sem er endurnýtt og endurunninn er stöðugt að aukast á Norðurlöndunum. Í Evrópustöðlunum er einungis litið til eiginleika efnanna en ekki uppruna.

Í þessu verkefni hefur steypa sem fellur til á steypustöð verið brotin niður og prófuð m.t.t. efniseiginleika og hugsanlegrar nýtingar í burðarlag vega. Í dag er þessi steypa urðuð eða sett í landfyllingar. Rannsóknir annarra landa hafa sýnt að endurunnin ónotuð steypa hefur gefið mjög góða raun þar sem hvörfun steypunnar heldur áfram eftir að hún hefur verið mulin niður og eykur þar með burðargetu vega.

Efni frá Steypustöðunni var malað í Vatnsskarðsnámum og hjá Loftorku í Borgarnesi í 0/22 mm efni og prófað á rannsóknarstofu EFLU verkfræðistofu og hjá Nýsköpunarmiðstöð Íslands. Niðurstöður gefa tilefni til bjartsýni þar sem efnið stóðst flestar kröfur Vegagerðarinnar til burðarlagsefnis fyrir utan kornadreifingu. Kornadreifingu er hins vegar hægt að stilla af í vinnslu efnisins. Fyrri sýnið límdist saman þar sem umfram sement var í efninu á meðan seinna sýnið límdist ekki saman. Það er matsatriði hvort betra sé að leyfa sementinu að vera þ.a. efnið fá aukin styrk við það að límast saman eða taka það frá. Ef fínefnið er tekið frá þá er engin hætta á frostlyftingum en þá fær efnið ekki heldur auka styrk við líminguna. Mögulega ætti að skoða staðhætti þar sem nýta á efnið áður en ákvörðun um magn fínefna er tekin. Hafa skal í huga að efnið sé töluvert ofan við grunnvatnsstöðu þ.a. efnið liggja ekki í vatni eða sé þar sem straumur vatns er.

Samanborið við Norðurlöndin þá stenst efnið kröfur fyrir utan kornadreifingu. LA próf fyrir styrkleika var notað fyrir sýnin hér og voru bæði sýnin rétt innan við og utan við hæstu gildi. Á Norðurlöndum er einnig Micro-Deval gildið einnig prófað en það er ekki hægt að prófa hérlandis.

## 8 HEIMILDASKRÁ

- AEA (2010). Green Public Procurement, Road Construction and Traffic Signs Background Report. Report for the European Commission DG Environment. European Commission, DG Environment-G2, Bö1049, Brussel, Belgíu.
- Andersen, Ulrik (2012). Ny plan skal gøre io ned byggeriets betonknuseri. Ingeniøren, <https://ing.dk/artikel/ny-plan-skal-gore-op-med-byggeriets-betonknuseri-131298>.
- Ásbjörn Jóhannesson, Gunnar Bjarnason, Hafdís Eygló Jónsdóttir og Ingva Árnason (2010). Notkun bergs til vegagerðar, vinnsla, efniskröfur og útlögn, Vegagerðin, Ísland.
- De Belie, N & Robeyst, N. (2007). Recycling of construction materials. Environmental-Conscious Construction Materials and Systems, RILEM TC 192-ECM: State-of-the-Art Report – November 2006. RILEM Publications S.A.R.L. Frakklandi.
- Børge Johannes Wigum, Þorbjörg Hólmgeirsdóttir, Edda Lilja Sveinsdóttir, Helgi Hauksson Guðni Jónsson, Halla Jónsdóttir, Aron Jóhannsson og Bryndís Skúladóttir (2002). Byggingarúrgangur á Íslandi, Gagnagrunnur og umhverfismat, Hlutar II & III: Endurunnin steypa – nýtt hráefni?. Skýrsla nr. 02-12, Rannsóknarstofnun Byggingariðnaðarins, Ísland.
- Ecoinvent (2018). Ecoinvent database. <https://www.ecoinvent.org/database/database.html>
- EFLA (2014). Vistferilsgreining fyrir brú - Rannsóknarverkefni Vegagerðarinnar. EFLA verkfræðistofa.
- EFLA (2017). Vistferilsgreining fyrir íslenska stálbrú - Rannsóknarverkefni Vegagerðarinnar. EFLA verkfræðistofa.
- EFLA (2018). Vistferilsgreining fyrir viðbyggingu við Sundhöll Reykjavíkur. EFLA verkfræðistofa.
- EN 13242:2002+A1:2007. Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction.
- EN 13285:2010. Unbound mixtures – Specifications. <https://www.epea.com/cradle-to-cradle/>
- EPEA (2018). Cradle to Cradle – Innovation, quality and good design.
- FWHA, Federal Highway Administration (2016). Recycled Concrete Aggregate Federal Highway Administration National Review. <http://www.fhwa.dot.gov>
- FWHA, Federal Highway Administration (1998). User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction, Reclaimed Concrete Material. FHWA-RD-97-148. US Department of Transportation, Federal Highway Administration, USA.
- Thinkstep (2018). GaBi. <http://www.gabi-software.com/software/gabi-software/gabi/>
- Hafdís Eygló Jónsdóttir og Gunnar Bjarnason (2013). Vinnsla steinefna til vegagerðar. Tækjabúnaður, verktækni og framleiðslueftirlit. Vegagerðin, Ísland.
- Hafdís Eygló Jónsdóttir og Gunnar Bjarnason (2018). Handbók um vinnslu steinefna til vegagerðar. Vegagerðin, Ísland.
- ÍST 76:2013. Framleiðsla á steinefnum.
- ÍST EN 932-3:1996. Test for general properties of aggregates - Part 3: Procedure and terminology for simplified petrographic description.
- ÍST EN 933-1:2012. Tests for geometrical properties of aggregates - Part 1: Determination of particle size distribution - Sieving method.
- ÍST EN 933-3:2012. Tests for geometrical properties of aggregates - Part 3: Determination of particle shape - Flakiness index.
- ÍST EN 933-5:1998/A1:2004. Tests for geometrical properties of aggregates - Part 5: Determination of percentage of crushed and broken surfaces in coarse aggregate particles.
- ÍST EN 1097-2:2010. Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 2: Methods for the determination of resistance to fragmentation.
- ÍST EN 1367-6:2008. Tests for thermal and weathering properties of aggregates - Part 6: Determination of resistance to freezing and thawing in the presence of salt (NaCl).



- ÍST EN 1744-1:2009+A1:2012. Tests for chemical properties of aggregates - Part 1: Chemical analysis.
- ÍST EN 12620:2002+A1:2008. Fylliefni í steinsteypu.
- Phua, V., Woodward, S., Wilson, D. & Larkin, T. (2016). Recycled Materials in Roading Aggregates: Aggregate Abrasion. IPENZ Transportation Group Conference, Auckland 7 - 9 March 2016.
- Pihl, K.A., Berg, F. & Milvang-Jensen, O. (2004). Ubundne bærelag af knust beton, efter europæiske standarder. Vejdirektoratet & Vejteknisk Institut, Danmörku.
- SEPA, Scottish Environment Protection Agency (2013). Recycled Aggregates from Inert Waste. SEPA Guidance, WST-G-033, version 2. SEPA, Skotland.
- Slaughter, G. (2006). Construction of New Zealand's first 100% recycled road. WasteMINZ Conference 2006, Nýja Sjálandi. <http://www.wasteminz.org.nz/wp-content/uploads/Greg-Slaughter2.pdf>
- Statens vegvesen (2014). Håndbok N200 – Vegbygging, normaler. Statens vegvesen, Noregi.
- Statens vegvesen (2013). Bruk av knust betong i vegbygging, Varige veger 2011-2014, Statens vegvesens rapporter nr. 262. Statens vegvesen, Noregi.
- Statens vegvesen (2012). Håndbok 211 – Avfallshåndtering, Retningslinjer. Statens vegvesen, Noregi.
- Statens vegvesen (2009). Gjenbruksmaterialer i vegbyggingm, Eksempelsamling, Teknologivdelingen, Rapport nr. 2574. Statens vegvesen, Noregi.
- Statens vegvesen (2006). Gjenbruksprosjektet. Prosjektrapport nr 12, Gjenbruksvegen E6 Melhus, Rapport nr. 2423, Teknologivdelingen. Statens vegvesen, Noregi.
- Stjórnarráð Íslands (2017). Sáttmáli Framsóknarflokks, Sjálfstæðisflokks og Vinstrihreyfingarinnar – græns framboðs um ríkisstjórnarsamstarf og eflingu Alþingis. <https://www.stjornarradid.is/rikisstjorn/stefnuyfirlysing/>
- Stjórnarráð Íslands (2018). Aðgerðaáætlun í loftslagsmálum. <https://www.stjornarradid.is/verkefni/umhverfi-og-natturuvernd/loftslagsmal/adgerdaaetlun/>. [Sótt: 07-jún-2018].
- Tangen, Dag Alte & Evensen, Ragnar. (2013). Bruk av knust betong i vegbygging, Varige veger 2011-2014. Statens Vegvesens Rapporter, Nr. 262. Statens Vegvesen, Noregi.
- Transit New Zealand (2006). TNZ M/4: 2006, Specification for basecourse aggregate. Transit New Zealand, Ararau Aotearoa, Nýja Sjálandi.
- UNFCCC (2016) Submission by Iceland to the ADP – Iceland's Intended Nationally Determined Contribution. NDC Registry. <http://www4.unfccc.int/ndcregistry/PublishedDocuments/Iceland%20First/INDC-ICELAND.pdf>
- Vägverket (2004). Allman teknisk beskrivning, Krossad betong i vagkonstruktioner, Publikation 2004:11. Vägverket, Svíþjóð.
- Vegagerðin (2012). Sprengt berg í vegagerð, handbók fyrir vegagerðarmenn. Vegagerðin, Ísland.
- Vegagerðin (2016). Efnisrannsóknir og efniskröfur, Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd, Burðarlag. Vegagerðin, Ísland.
- Vejdirektoratet (2011). Vejoverbygning, Ubundne bærelag af knust beton og tegl, almindelig arbejdsbeskrivelse (AAB). Vejdirektoratet, Danmörku.
- Vejregler (2013). Håndbog, Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger, Anlæg og planlægning. Vejdirektoratet, Danmörku.
- Ydrevik, K. & Arm, M. (2001). Krossad betong i vägar, erfaremheter från Sverige. Dansk Vejtidskrift, Danmörku.

## VIÐAUKI A NIÐURSTÖÐUBLÖÐ RANNSÓKNARSTOFU



## A.1 Kornadreifing



Heimilisfang: Hlíðabakki 9, 110 Reykjavík  
Sími: 412 6000 - Fax: 412 6001  
Tölvupóstur: efla@efla.is  
Vefbáttur: www.efla.is

## Kornadreifing

Verkkaupi  
Vegagerðin  
Umboð af

Verk nr.  
2970-224  
Prentað dags.  
1.2.2017

## Upplýsingar um sýni

Sýni	Távlaun	Sýni nr.
Endurunnin steypa	Endurunnin steypa	1105
Sýni merkt	Sýnagerð	Upplétti nr. 950

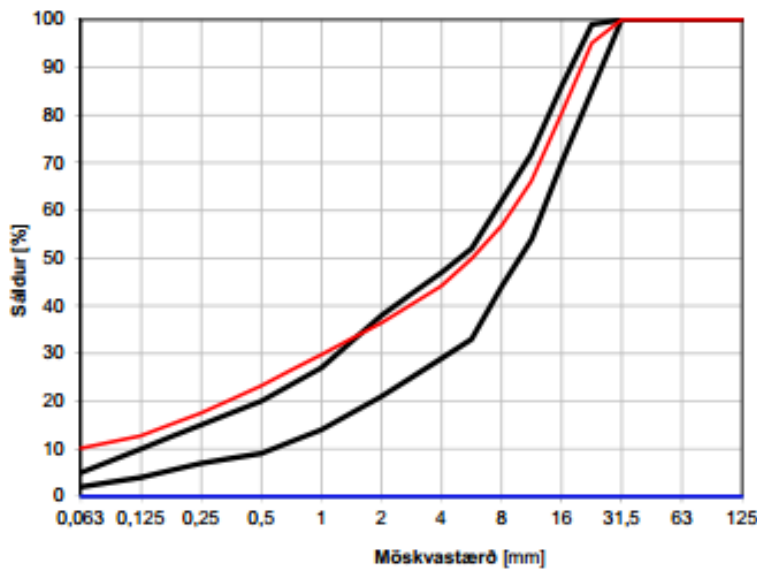
## Efniseigisleikar

Raki (%)	22,21%	Kornrúmþyngd $\rho_{\text{sk}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	Kleyfnistuðull	Fi
Fínefni (< 0,063 mm) (%)	10,1%	Mettivatn $W_{\text{sk}} \text{ (%)}$	Yfirborð	(m <sup>2</sup> /g)
Húmus	H	Rúmp. (bulk), þurr $\text{ (kg/m}^3\text{)}$	Klór	(%)
Slamm	(%)	Rúmp. (bulk), y.b.m. $\text{ (kg/m}^3\text{)}$	Holrymd	(%)

## Kornadreifing

Prófunaraðferð:	Dagsprófunar	Frakv. af
ÍST EN 933-1, ÍST EN 933-2	20.9.2016	GJ
Aðferð: x Votsigtun Þursigtun		

Möskvastærð [mm]	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	5,6	8	11,2	16	22,4	31,5	45	63	88	125
(%)	10,1	13	17	23	30	36	44	50	57	66	80	95	100	100	100	100	100



— Mærkiliur: Mærkiliur fyrir malað 22 mm berg í burðarlög. Innri mörk.  
— Lína: 2970-224 - Endurunnin steypa

## Tæknileg atriði:

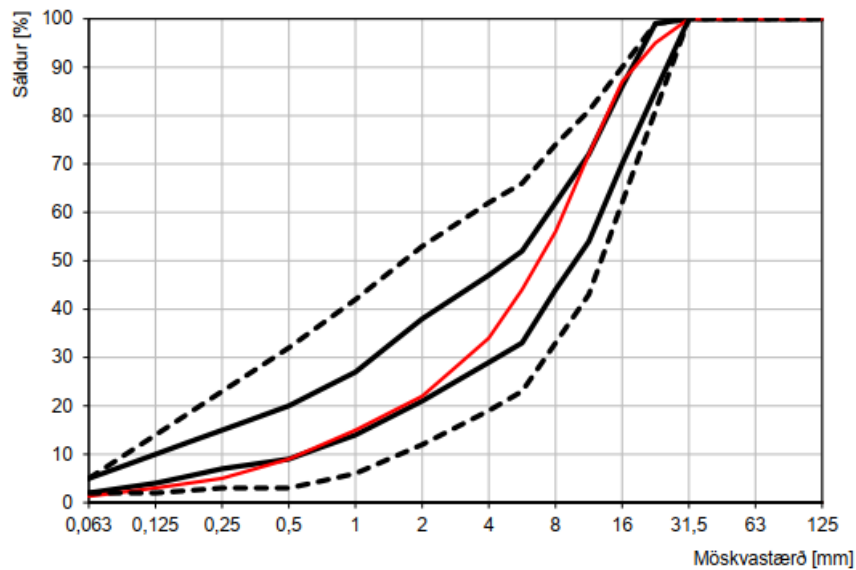
$D_{10}$	-	$D_{50}$	5,63	Flokkun skv. U.S.C.S - Kerfinu:	
$D_{15}$	0,17	$D_{60}$	8,97	Grófleikatala $C_u = D_{60}/D_{10} =$	-
$D_{30}$	1,03	$D_{85}$	17,80	Kornadreifingarstuðull $C_c = D_{30}^2/(D_{60} \cdot D_{10}) =$	-

## Athugasemdir:

Uppfletti nr.	Sýni	Sýni merkt.	Sýni nr.	Dags.prófs	Framkv. af	Raki [%]	Fínefni < 0,063mm [%]
1006	Steypubrot / mulningur	Ómerkt		23.8.2018	VB	6,1%	1,3

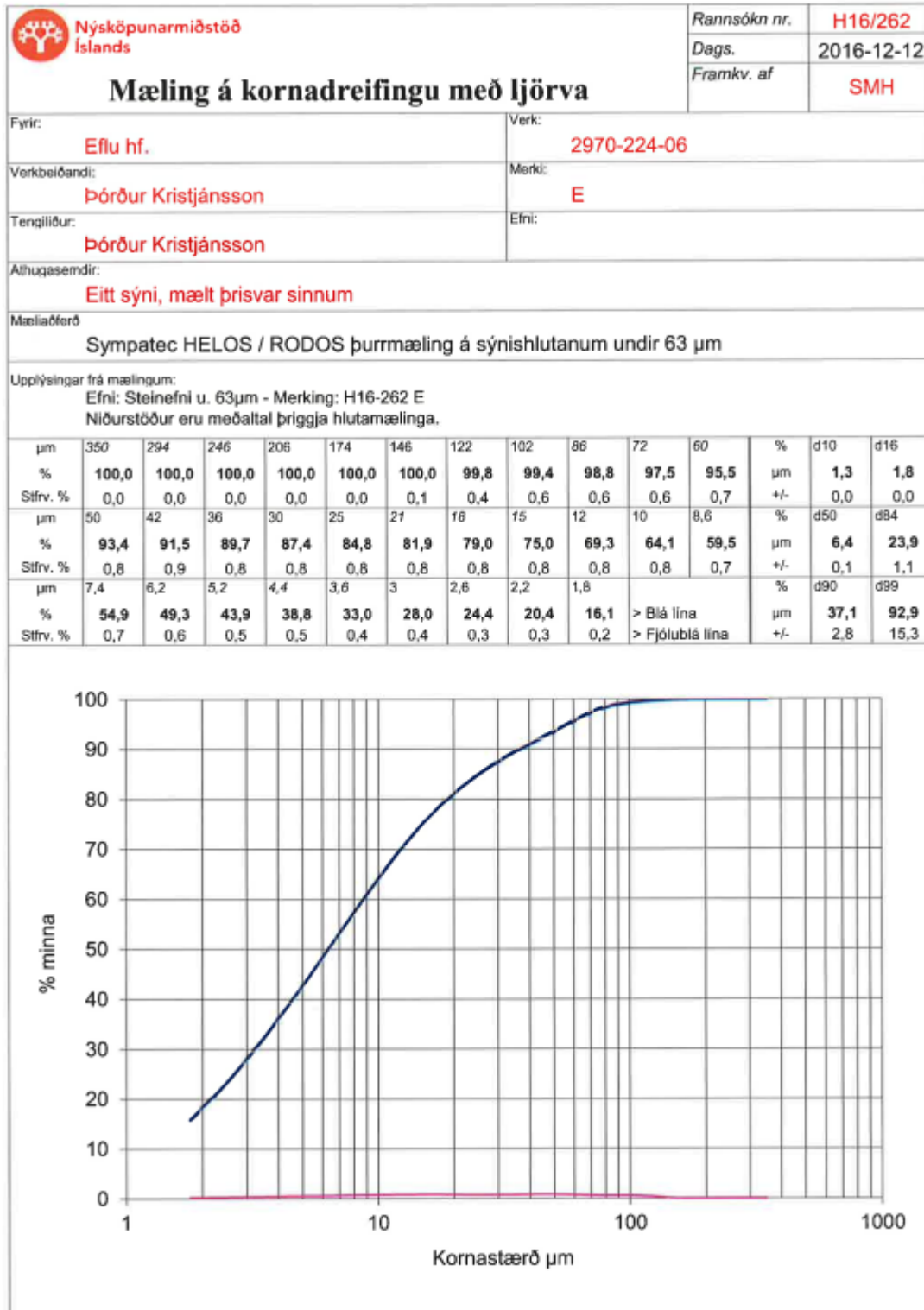
### Kornadreifing

Möskvastærð [mm]	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	5,6	8	11,2	16	22,4	31,5	45	63	88	125
Steypubrot / mulningur [%]	1,3	3,0	5,0	9,0	15,0	22,0	34,0	44,0	56,0	72,0	87,0	95,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0



— Markarlinur I: 0/22  
 - - - - - Markarlinur II: 0/22

Athugasemdir:





Nýsköpunarmiðstöð  
Íslands

Rannsókn nr.	H16/262
Dags.	2016-12-12
Framkv. af	SMH

## Mæling á kornadreifingu

Fyrir:	Eflu hf.	Verk:	2970-224-06
Verkefandi:	Þórður Kristjánsson	Merk:	E
Tengiliður:	Þórður Kristjánsson	Efni:	

Athugasemdir:  
Eitt sýni, mælt þrisvar sinnum

Mæliaðferðir:  
Sigtun og Sympatec HELOS / RODOS þurmmæling

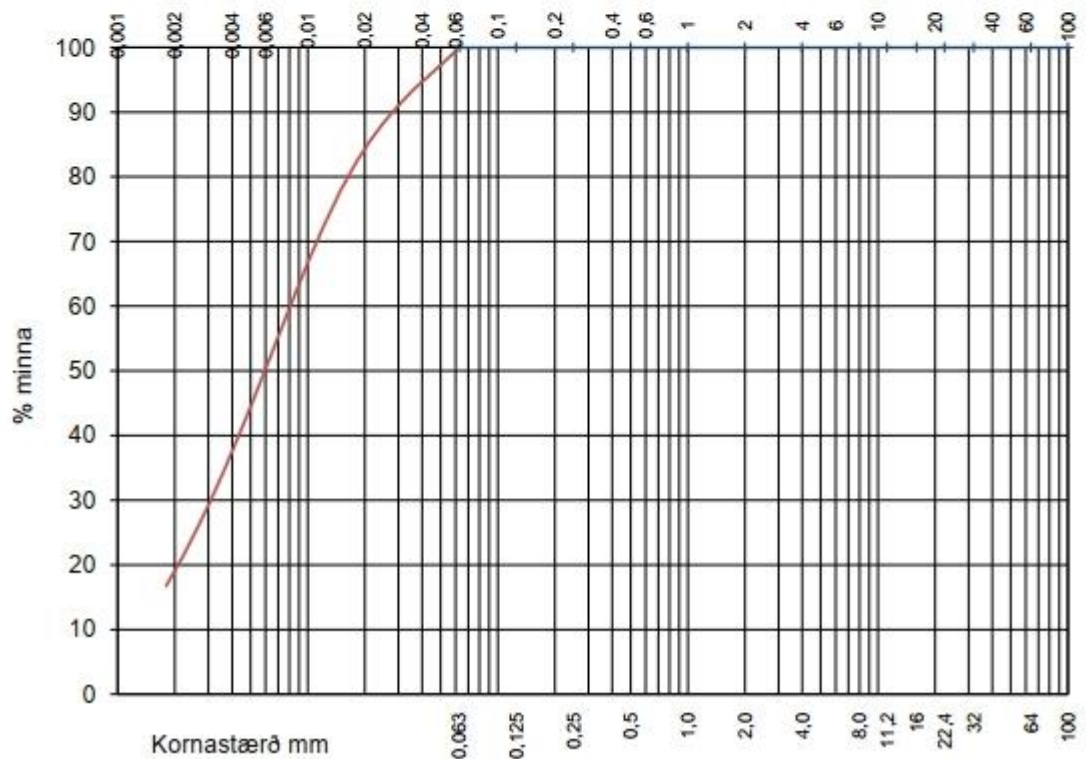
### Sigtun:

mm	100	64	32	22,4	16	11,2	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Mæling í ljórvataki felld að sáldurprösentu við 0,063 mm:

Reiknaðar tölur:

µm	350	204	240	206	174	146	122	102	80	72	60	µm	2	20
%												%	19,1	84,3
µm	50	42	36	30	25	21	18	15	12	10	8,6	%	d10	d60
%	97,2	95,3	93,4	91,0	88,3	85,3	82,3	78,1	72,1	66,7	62,0	µm	(-)	8,1
µm	7,4	6,2	5,2	4,4	3,6	3	2,6	2,2	1,8			Leirhlutfall %		
%	57,1	51,4	45,7	40,4	34,4	29,2	25,4	21,3	16,8			<2 µm / <63 µm	~19	



5.11.2018 - H16-262 Ljörvi.xlsm\AQA

## A.2 Kleyfnistuðull



## Kleyfnistuðull

Verkkaupi  
**Vegagerðin**  
Umbeðið af

Verknr.  
**2970-224**  
Prentað dagsetn.  
**28.10.2016**

## Upplýsingar um sýni

Sýni	Kornastærð	Sýni nr.
<b>Endurunnin steypa</b>	<b>0-22 mm</b>	<b>1105</b>
Sýni, lýsing	Sýnataka	Uppfletti nr.
<b>Endurunnin steypa</b>	<b>Vegagerðin</b>	<b>19</b>
Sýnisgerð	Verkefni	
<b>Endurunnin steypa</b>	<b>Endurunnin steypa í burðarlög</b>	

## Niðurstöður

Prófunaraðferð	Dags. prófunar	Frkv. af
<b>ÍST EN 933-3:1997</b>	<b>28.10.2016</b>	<b>GJ</b>

Heildarþyngd sýnis	2372,3 g
Þyngd á 80 mm sigti	0,0 g
Þyngd efnis gegnum 4 mm sigti	500 g
Heildarmagn efnis sem er ekki nýtt	500 g

## Kornastærðardreifing

Möskvastærð [mm]	63,0	50,0	40,0	31,5	25,0	20,0	16,0	12,5	10,0	8,0	6,3	5,0	4,0
Þyngdarhlutfall [%]	100	100	100	100	100	96	79	56	42	30	18	8	0

## Kleyfnistuðlar

Möskvastærð [mm]	40,0	32,0	25,0	20,0	16,0	13,0	10,0	8,0	6,3	5,0	4,0	3,2	2,5
Þyngdarhlutfall [%]	100	100	100	100	100	100	83	49	40	30	22	9	0
Kleyfnistuðull	-	-	-	-	-	-	5	-	7	3	4	6	5

Kleyfnistuðull 5

## Kleyfnistuðull

Verkkaupi  
**Steypustöðin/Vegagerðin**  
Umbeðið af  
**Þorbjörg Sævarsdóttir**

Verknr.  
**2970-224**  
Prentað dagsetn.  
**30.8.2018**

### Upplýsingar um sýni

Sýni	Kornastærð	Sýni nr.
<b>Ómerkt</b>	<b>0-22,5 mm</b>	<b>1604</b>
Sýni, lýsing	Sýnataka	Uppfletti nr.
<b>0-22,5 mm steypumulningur/brot</b>		<b>29</b>
Sýnisgerð	Verkefni	
	<b>Ýmsar prófanir</b>	

### Niðurstöður

Prófunaraðferð	Dags. prófunar	Frkv. af
<b>IST EN 933-3:1997</b>	<b>30.8.2018</b>	<b>VB</b>

Heildarþyngd sýnis	1752,4 g
Þyngd á 80 mm sigti	0,0 g
Þyngd efnis gegnum 4 mm sigti	867,5 g
Heildarmagn efnis sem er ekki nýtt	867,5 g

### Kornastærðardreifing

Möskvastærð [mm]	63,0	50,0	40,0	31,5	25,0	20,0	16,0	12,5	10,0	8,0	6,3	5,0	4,0
Þyngdarhlutfall [%]	100	100	100	100	100	88	79	64	46	32	19	9	0

### Kleyfnistuðlar

Möskvastærð [mm]	40,0	32,0	25,0	20,0	16,0	13,0	10,0	8,0	6,3	5,0	4,0	3,2	2,5
Þyngdarhlutfall [%]	100	100	100	100	100	92	89	78	58	38	27	12	0
Kleyfnistuðull	-	-	-	-	-	4	2	-	4	7	5	9	8

## Kleyfnistuðull 6

## A.3 Los Angeles próf

**RANNSÓKNASTOFA**

Héimilisfang: Höfðabakki 9, 110 Reykjavík

Sími: 412 6000 - Fax: 412 6001

Tölvupóstur: efla@efla.is

Vefsíða: www.efla.is

**Los Angeles próf**Verkkaupi  
**Vegagerðin**

Umbeðil af

Verk nr.  
**2970-224**Prentað dags.  
**21.9.2016****Upplýsingar um sýni**

Sýni

**Endurunnin steypa**

Sýni merkt

Tilvisun

**Endurunnin steypa**

Sýnagerð

Sýni nr.

**1105**

Uppfletti nr.

**2****Efniseiginleikar**

Þyngd sýnis fyrir próf 10-14 mm (g)	<u>5000</u>
Þyngd sýnis >1,6 mm eftir próf (g)	<u>3757,8</u>
<b>LA stuðull</b>	<u><b>24,8</b></u>

## Los Angeles próf

Verkkaupi

**Vegagerðin (sent frá Steypustöðinni)**

Umbeðið af

**Þorbjörg Sævarsdóttir**

Verk nr.

**2970-224**

Prentað dags.

**24.9.2018**

---

### Upplýsingar um sýni

Sýni

**Steypubrot**

Sýni merkt

**Ómerkt**

Dags. prófunar

**24.9.2018**

Tilvísun

**Ýmsar prófanir**

Sýnagerð

Framkv.

**VB**

Sýni nr.

**1604**

Uppfletti nr.

**34**

---

### Efniseiginleikar

Prófunaraðferð

**ÍST EN 1097-2**

Dyngd sýnis fyrir próf 10-14 mm (g) 5000

Dyngd sýnis >1,6 mm eftir próf (g) 3734

**LA stuðull** **25,3**