



## ENDURUNNIN STEYPA Í BURÐARLÖG VEGA

Steypuafgangar steypustöðva endurunnir og nýttir sem burðarlagsefni

Áfangaskýrsla, 31.03.2017



## SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ

### SKJALALYKILL

2970-224-SKY-001-V01

### SKÝRSLUNÚMÉR / SÍÐUFJÖLDI

1/46

### VERKEFNISSTJÓRI / FULLTRÚI VERKKAUPA

Þorbjörg Sævarsdóttir/Þórir Ingason,  
Kai Westphal

### VERKEFNISSTJÓRI EFLA

Þorbjörg Sævarsdóttir

### TITILL SKÝRSLU

Endurunnin steypa í burðarlög vega

### VERKHEITI

Endurvinnsla steypu í burðarlög vega

### VERKKAUPI

Vegagerðin, Steypustöðin hf, EFLA

### HÖFUNDAR

Þorbjörg Sævarsdóttir (EFLA), Guðni Jónsson (EFLA), Hafdís Eygló Jónsdóttir (Vegagerðin), Kai Westphal (Steypustöðin hf), Ellert Alexandersson (Vatnsskarðsnámur, Alexander Ólafsson ehf.), Þórður Ingimar Kristjánsson (EFLA)

### STAÐA SKÝRSLU

- Í vinnslu
- Drög til yfirlstrar
- Lokið

### DREIFING

- Opin
- Dreifing með leyfi verkkaupa
- Trúnaðarmál

*Höfundar skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður skýrslna 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



## SAMANTEKT

Endurvinnsla og endurnýting efna er alltaf að verða mikilvægari og alþjóðakröfur að verða strangari. Einnig eru kröfur til landfyllinga að aukast, bæði hvað varðar magn og gæði efnis sem fer í fyllingar. Þess vegna 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.

Hér er 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 ferskt steinefni úr námum og í sumum tilvikum talin betri kostur.

Steypuafgangarnir voru brotnir niður í 0/22 mm kornastærð og eiginleikar efnisins kannaðir. Efnið var meðhöndlað sem óbundið burðarlagsefni og hefðbundnar prófanir gerðar: kornadreifing; kornalögun / kleyfni; og styrkleikapróf (LA próf). Hins vegar var ekki talin þörf á því að meta brothlutfall eða gera berggreiningu, húmus- og þjáltnipróf og frostþolspróf vegna þess að þessir eiginleikar höfðu áður verið prófaðir á fylliefni steypunnar.

Niðurstöðurnar gefa tilefni til frekari prófanna þar sem efnið stóðst ströngustu körfur Vegagerðarinnar til óbundins burðarlags utan kornadreifingar. Fínefnainnihald efnisins var of hátt en ljóst er að töluvert af fínefninu er óhvarfað sement sem bindur efnið saman þegar það er komið í veginn og gefur því aukinn styrk. Stilla þarf af kornadreifingu efnisins og greina fínefni þess.



## EFNISYFIRLIT

<b>SAMANTEKT</b>	<b>5</b>
<b>1 INNGANGUR</b>	<b>11</b>
<b>2 HEIMILDIR</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Noregur</b>	<b>16</b>
2.1.1 Verkefni	18
<b>2.2 Svíþjóð</b>	<b>20</b>
<b>2.3 Danmörk</b>	<b>22</b>
<b>2.4 Nýja Sjáland</b>	<b>24</b>
<b>3 KRÖFUR TIL BURÐARLAGS VEGA Á ÍSLANDI</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Kornadreifing</b>	<b>27</b>
3.1.1 Burðarlög	27
3.1.2 Styrktarlag	29
<b>3.2 Kornalögun</b>	<b>30</b>
<b>3.3 Styrkleikapróf</b>	<b>30</b>
<b>3.4 Berggreining</b>	<b>30</b>
<b>3.5 Brothlutfall</b>	<b>31</b>
<b>3.6 Húmus / Þjálmi</b>	<b>31</b>
<b>3.7 Frostþolspróf</b>	<b>31</b>
<b>4 NIÐURSTÖÐUR PRÓFANA Á ENDURUNNINNI STEYPU OG SAMANBURÐUR VIÐ KRÖFUR</b>	<b>33</b>
4.1 Kornadreifing	33
4.2 Kornalögun	35
4.3 Styrkleikapróf	36
4.4 Berggreining	36
4.5 Brothlutfall	36
4.6 Húmus / Þjálmi	36
4.7 Frostþolspróf	36
<b>5 LOKAORÐ</b>	<b>38</b>
<b>6 HEIMILDASKRÁ</b>	<b>39</b>
<b>VIÐAUKI A NIÐURSTÖÐUBLÖÐ RANNSÓKNARSTOFU</b>	<b>42</b>





## MYNDASKRÁ

Mynd 1	Efnið var fyrst forbrotið í kjaftbrjót Metso LT 120. _____	13
Mynd 2	Síðan fór efnið í kónbrjót Metso LT 330. _____	13
Mynd 3	Fylki í Bandaríkjunum þar sem endurunnin steypa er notuð sem steinefni í burðarlög (FWHA, 2016). _____	16
Mynd 4	Kennisnið bílastæðanna við St. Olavs sjúkrahúsið í Þrándheimi (Statens vegvesen, 2009) _____	19
Mynd 5	Markalínur fyrir malað 22 mm berg í burðarlög (Vegagerðin, 2016). _____	28
Mynd 6	Marklínur fyrir sementsfest burðarlög (Vegagerðin, 2016). _____	29
Mynd 7	Niðurstöður kornadreifingar á endurunninni steypu sem prófuð var í verkefninu ásamt innri markalínunum skv ÍST EN 13285. _____	34
Mynd 8	Niðurstöður kornadreifingar á endurunninni steypu sem prófuð var í verkefninu ásamt markalínunum fyrir sementsfest burðarlög. _____	35
Mynd 9	Kornadreyfing á fínefnahluta (<0,063 mm) endurunninnar steypu sem prófuð var í verkefninu. _____	35

## TÖFLUSKRÁ

Tafla 1	Efniseiginleikar náttúrlegs fylliefnis, brotinnar steypu og brotinnar múrsteina (De Belie & Robeyst, 2007). _____	14
Tafla 2	Kröfur til útlagðrar, óbundinnar brotinnar steypu í styrktarlag. _____	18
Tafla 3	Gæðaflokkar brotinnar steypu. _____	21
Tafla 4	Kornakúrfa brotinnar steypu í burðarlag göngu og hjólastíga og styrktarlög vega. _____	22
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> . _____	22
Tafla 6	Brothlutfall i fyrir flokka KB og KBT I. _____	23
Tafla 7	Kröfur sem gerðar til efnasamsetningar brotinnar steypu og múrsteina _____	23
Tafla 8	Samspil milli umferðarflokkunnar og efnisvals. _____	23
Tafla 9	Efniseiginleikar fyrir flokka A, B og C brotinnar steypu í burðarlög vega og í hvaða umferðarflokka má nota mismunandi flokka. _____	24
Tafla 10	Kornadreifing fyrir KB (0/31,5 mm) efni í flokki C. Brothlutfallið i skal vera á milli 5-35%. _____	24
Tafla 11	Kröfur sem gerðar eru til brotinnar steypu á Nýja Sjálandi (Transit New Zealand, 2006). _____	25
Tafla 12	Meðaltals núningstap gildi þegar prófað er með Los Angeles og Micro Deval prófunum. _____	26
Tafla 13	Kröfur til kornalögunar steinsefna í burðarlög (Vegagerðin, 2016). _____	30
Tafla 14	Kröfur fyrir styrkleika steinsefna í burðarlög (Vegagerðin 2016). _____	30
Tafla 15	Leiðbeinandi kröfur um leyfilegt magn steinsefna í 3.flokki (Vegagerðin, 2016). _____	31
Tafla 16	Kröfur sem gerðar eru á brothlutfalli steinsefna í burðarlög vega (Vegagerðin 2016). _____	31
Tafla 17	Kröfur til niðurstöðu frostþolsprófs fyrir steinefni í burðarlög (Vegagerðin, 2016). _____	32



## 1 INNGANGUR

Árið 2003 var bent á að meðan nýr bíll samanstendur oft af 70% endurunnum efnum innihélt nýr vegur á Nýja Sjálandi yfirleitt minna en 1% af endurunnum efnum. Ein af helstu ástæðum var talin sú að vegiðnaðurinn taldi að endurunnin efni væru síðri heldur en fersk steinefni og því einungis nýtanleg í takmörkuð verkefni. Hins vegar hefur vitneskjan um eiginleika endurunninna efna verið að aukast samhliða því að erfiðara er að finna góð „fersk“ efni úr námum og þau orðin dýrari. Einnig eru kröfur til urðunnar að aukast. Vegna þessa eru endurunnin efni að verða meira heillandi (Slaughter, 2006).

Endurvinnsla og endurnýting efna er alltaf að verða mikilvægari og alþjóðakröfur að verða strangari. Einnig eru kröfur til landfyllinga að aukast, bæði hvað varðar magn og gæði þess efnis sem fer í fyllingar. Þess vegna hafa þjóðir heims, og þar með taldar nágrannaþjóðir okkar, kappkostað að endurvinnna og endurnýta efni sem fellur til við iðnaðarframleiðslu og hafa þannig dregið úr því magni sem þarf að urða og setja í landfyllingar. Kröfur til endurvinnslu og endurnýtingar ásamt harðari aðgerðum til að sporna gegn urðun með hugsanlegri gjaldtöku munu líklega aukast á Íslandi eins og gerst hefur víða í Evrópu. Vegna þessa er nauðsynlegt að kanna mismunandi möguleika við endurvinnslu 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 vegagerðarefna, en listinn er ekki tæmandi (AEA, 2010):

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

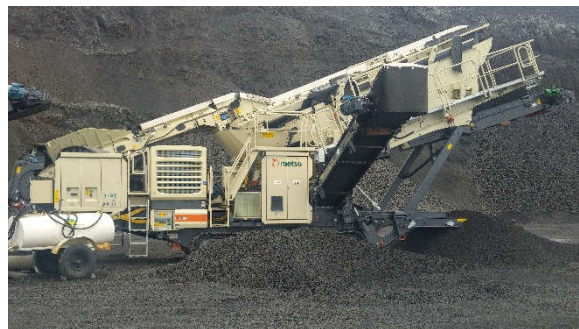
Endurvinnsla og endurnýting iðnaðarúrgangs hefur aukist töluvert og hér er því kannaður sá möguleiki að endurvinnna steypuafganga í óbundin og hugsanlega bundin burðarlög vega. Steypuafgangar eru steypa sem fellur til á steypustöðvum meðal annars þegar bílar koma til baka inni stöð án þess að vera tæmdir að fullu á verkstað. Því er um að ræða hreina og ónotaða steypu sem er laus við öll aðskotarefni eins og steypustyrktarjárn og annan byggingarúrgang sem er blandaður saman við niðurbrotna steypu úr mannvirkjum. 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 endurunningar 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 (Tangen & Evensen, 2013; Statens vegvesen, 2013; Andersen, 2012).

Á Íslandi eru um 20 steypustöðvar sem eru dreifðar 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 8000 m<sup>3</sup> á landinu öllu miðað við ársframleiðsluna 2015. Miðað við þessar tölur er nokkur ávinningur við að endurvinnna steypu hér á landi þegar til langs tíma er litið þar sem framleiðslan er í örum vexti.

Notaðir voru steypuafgangar frá Steypustöðinni hf sem staðsett er á höfuðborgarsvæðinu. Steinefnaframleiðandinn Vatnsskarðsnámur Alexander Ólafsson ehf., sá um að vinna efnið, en efnið var tekið úr haug á vinnslusvæði þeirra. Efnið var fyrst forbrotið í kjaftbrjót að tegund „Metso LT 120“ (mynd 1), fór síðan á hörpu, því næstu í kónbrjót að tegund „Metso LT 330“ (mynd 2) og að lokum aftur sett á hörpu. Efnið var brotið niður í 0/22 mm stærð og prófað á rannsóknarstofu EFLU. Markmiðið var að skoða hvort efnið uppfyllti kröfur Vegagerðarinnar til notkunnar í burðarlög vega. Ásamt því að prófa þetta tiltekna efni var litið til reynslu manna af nýtingu endurunningar steypu á Norðurlöndunum sem og annars staðar.

Fyrstu niðurstöður þessa verkefnis sem og reynsla manna annars staðar frá gefa tilefni til bjartsýni þar sem um gott efni er að ræða og engin ástæða til þess að setja steypuafganga til urðunar og í landfyllingar. 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. Haldið verður áfram með verkefnið á þessu ári til að sannreyna notagildi efnisins.



Mynd 1 Efnið var fyrst forbrotið í kjaltbrjót Metso LT 120. Mynd 2 Síðan fór efnið í kónbrjót Metso LT 330.

## 2 HEIMILDIR

Mannvirki krefjast mikils magns náttúrulegra efna s.s. malar og sands. Nýting þessara efna er ekki talin umhverfisvæn þar sem námuvinnsla annað hvort úr árfarvegum eða úr klöpp breyta jafnvægi og ásýnd svæðanna. Þrátt fyrir að nánast allur úrgangur steyptra mannvirkja og mannvirkja gerða úr múrsteinum 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 þrennt: endurunnir múrsteinar, endurunnin steypa og blanda af þessu tvennu. Almenn talið eru mismunandi eiginleika þessara efna listaðir í töflu 1 (De Belie & Robeyst, 2007).

Tafla 1 Efniseiginleikar náttúrulegs fylliefnis, brotinnar steypu og brotinnar 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
Brot gildi	0,88	0,78	0,67

Endurunnin steypa er notuð í burðar- og styrktarlög vega og í hjólreiða- og göngustíga víðs vegar í heiminum. Talið er að endurunnin 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 í felti og á rannsóknarstofu fyrir mismunandi efni, að brotin steypa er oft stífari og stöðugri heldur en sambærilegt ferskt steinefni. Talið er að stífni efnisins geti verið allt af þreföld miðað við hefðbundið ferskt steinefni 6 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 sem er í steypu er yfirleitt með sama styrkleika og steinefni sem sett eru í burðarlög vega eða sterkari. 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 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 vegbyggingar. Þannig er áhersla lögð á eiginleika en ekki uppruna efnisins. Aggregate er skilgreint sem „granular material used in construction. Aggregates may be natural, manufactured or recycled“. Hins vegar eru efnisflokkar eftir því hversu mikið hlutfall enduruninna steinefna er en henni svipar mjög til flokkunarinnar sem Danirnir hafa sett fram, sbr. töflu 7.

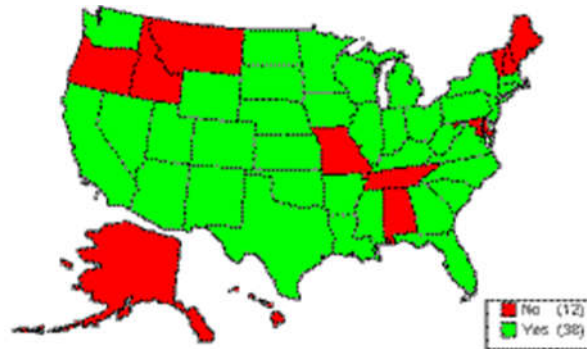
Staðalinn EN 13242 sem og hliðarstaðalinn EN 13285:2010 (unbond mixtures – specifications) gera „hefðbundnar“ kröfur til steinefna s.s. kornadreifingar, kornalögun, magn fínefna, styrks (LA-stuðull), mótstöðu gegn högg og núningsálagi, kleyfni, rúmþyngd og vatnsdrægni svo eitthvað sé talið. Einnig er 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. En kröfurnar eru sambærilegar við kröfurnar sem settar eru fram í sænsku leiðbeiningarritunum.

Svíar hafa gefið út leiðbeiningarritið „Allman teknisk beskrivning, Krossad betong i vägkonstruktioner“ og Norðmenn hafa verið að vinna verkefnið „Varige vegar“ 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, hlutfall enduruninna steinefna miðað við heildarþörfina var hins vegar 20% á Skotlandi (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 endurunna steypu í burðarlög vega, sbr. mynd 3 (FHWA, 2016).

Fáar rannsóknir hafa verið gerðar á enduruninni steypu hér á landi og engar þar sem verið er að nota steypuafganga frá steypustöðvum þ.e.a.s. nýja steypu sem tilfellur áður en henni er komið í mót. Í rannsókn Børge Johannes Wigum o.fl. frá 2002 voru tekin sýni úr húsi til niðurrifs við Höfðatúni 2 í Reykjavík og það efni bortið 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 þá heldur en í dag. Þar að auki hefur hvörfunargráða þessarar steypu vafalítið orðin allt að 100% þ.e.

nánast allt sement hvarfað og mögulega önnur aðskotaefni í steypunni. Þetta gæti skýrt lágan styrk efnisins.



Mynd 3 Fylki í Bandaríkjunum þar sem endurunnin steypa er notuð sem steinefni í burðarlög (FWHA, 2016).

## 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 svo sem húsa og brúa. Margir notkunarmöguleikar eru tilgreindir til notkunar endurunninnar steypu í vegagerð, en notkunin fer eftir aðstæðum á hverjum stað fyrir sig ásamt gæði steypunnar sem verið er að endurvinnna. Helstu notkunarmöguleikarnir sem mælt er með í Noregi eru (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. Hafa verður í huga hvort skilja megi efnið eftir að framkvæmdum loknum eða hvort hreinsa þurfi efnið og nýta annars staðar.
- Í vegbyggingar 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 steypa hefur verið brotin. Handbók 200 (Statens vegvesen, 2014) fjallar um kröfurnar sem eru gerðar til massa sem notaður er í yfirbyggingu vega, annars vegar *Gjb I*, brotin steypa og hins vegar *Gjb II* sem er blandaður massi með brotinni steypu og brotnum hellusteinum. Kröfur Norsku vegagerðarinnar er að *Gjb I* megi nota í burðarlög fyrir göngu- og hjólastíga sem og bílastæði með litla umferð. Þegar litið er til styrktarlags má nota *Gjb I* og *II* á vegi sem eru skilgreindir í umferðarflokk D eða minna þ.e.a.s. 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. Þetta nýtir þó ekki til fullnustu þá eiginleika sem býr í efninu og skal því frekar nota efnið í vegbygginguna ef það hentar. Ef efnið hefur ekki nægjanlega efniseiginleika þá vantar væntanlega uppá frostmótstöðuna og því skal nota efnið þar sem það stendur ekki í vatni og er vel drenerandi.

Efniskröfur sem gerðar eru til endurunnar steypu eru tíundaðar í handbók N200 sem fjallar um vegbyggingar. Í handbókinni er vísað til þess að efnið skal afhent og unnið í samræmi við NS-EN 13242 (Tilslag for mekanisk stabiliserte og hydraulisk stabiliserte materialer til bruk i bygg og anleggsarbeid og vegbygging).

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.

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 BROTIN STEYPA Í STYRKTARLÖG</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 Í GÖNGU OG HJÓLASTÍGA</b>					
LA-GILDI	≤ 40	LA <sub>40</sub>			1500 m <sup>3</sup>
KLEFNIÐ (FLAKINESS INDEX)	≤ 35	FI <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 BROTIN 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					
OFNÞURRKAÐUR				> 2000 kg/m <sup>3</sup>	> 1500 kg/m <sup>3</sup>
VATNSMETTAD OFNÞURRKAÐUR				> 2100 kg/m <sup>3</sup>	> 1800 kg/m <sup>3</sup>
VATNSUPPTAKA				< 10 %	< 20 %

### 2.1.1 Verkefni

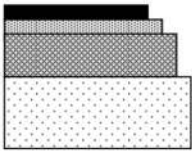
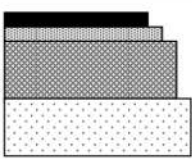
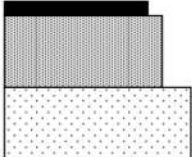
#### Linderud-Kalbakken – Noregi

Í Linderud – Kalbakken verkefninu var verið að byggja og breikka göngu- og hjólastíg árið 2001. Ákveðið var að nota endurunna steypu. Fyrri reynsla hafði sýnt frammá að auðvelt var að vinna með efnið og því var ákveðið að leggja styrktarlag með brotinni steypu í 20-120 mm þykkt undir burðarlagi af brotinni steypu 8-60 mm. Efnið var síðan valtað með 7 tonna valtara.

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 Noregi

Stórt verkefni í Þrándheimi var St. Olavs sjúkrahúsið þar sem eitt af kröfum verksins var að endurnýta allt efni, eða því sem næst, sem rifið var. Þar var brugðið á það ráð að nota steypu sem féll til í styrktar- og burðarlag fyrir bílastæði sjúkrahússins. Þrjár uppbyggingar voru skilgreindar, sbr. mynd 4. St. Olavs verkefnið hófst árið 1999 og átti að ljúka 2012.

	Lagopbygging	Lagtykkelse	
		Teoretisk	Oppgraving
Felt A	 <p>Gjenbruksasfalt Knust betong (0-20 mm) Knust betong (0-60 mm) Naturgrus</p>	3-5 cm 5 cm 15 cm 30 cm	5 cm } 25 cm 30 cm
Felt B	 <p>Gjenbruksasfalt Knust betong (0-20 mm) Knust betong (0-60 mm) Naturgrus</p>	3-5 cm 5 cm 25 cm 20 cm	5 cm } 35 cm 25 cm
Felt C	 <p>Gjenbruksasfalt Knust betong (0-20 mm) Naturgrus</p>	3-5 cm 20 cm 30 cm	6 cm 25 cm 30 cm

Mynd 4 Kennisnið bílastæðanna við St. Olavs sjúkrahúsið í Þrándheimi (Statens vegvesen, 2009)

### E6 Melhus í Noregi

Þar sem fyrri reynsla hafði sýnt að styrkur endurunninnar steypu eykst með tímanum eins og efnafræðilega stöðug efni, væntanlega vegna fínefnis 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 fínefna. Einnig var styrktarlagið valtað með tveimur mismunandi völtum til að sjá hvaða áhrif það hefði á styrk endanlegrar vegbyggingar. Til þess að ná ásættanlegri þjöppun voru styrktarlögin þjöppuð í tvennu lagi, 35 og svo 30 cm, en heildarþykktin var 65 cm. Góður stöðugleiki í efninu olli því að ekki var vandamál að keyra þunga vörubíla á einungis neðra laginu. Eftir proctor próf var optimum vatnsinnihald áætlað 14% (Statens vegvesen, 2006).

Niðurstöðurnar sýndu að þar sem notað var brotin steypa í veginn, var vegbyggingin sterkari heldur en þar sem hefðbundin steinefni voru notuð en það virtist ekki skipta höfuð máli hvort að lítill eða stór valtari væri notaður. Talið er að þessar niðurstöður gefi tilefni til að endurskoða álagsstuðla brotinnar steypu. Ef gert er ráð fyrir sömu þykktum þ.e.a.s. 12,5 cm slitlag / efra burðarlag, 20 cm neðra burðarlag og 65 cm styrktarlag yfir allan veginn þá myndu álagsdreifingarstuðlar fyrir styrktarlagið vera um það bil 1,5 eftir ár í felti (Statens vegvesen, 2006):

- Styrktarlag með mól; E-mod  $\approx$  110 MPa; álagsdreifingarstuðull 1,0
- Styrktarlag með brotinni steypu Gjb 0-100; E-mod  $\approx$  800 MPa; álagsdreifingarstuðull 1,9
- Styrktarlag með brotinni steypu Gjb 20-100; E-mod  $\approx$  300 MPa; álagsdreifingarstuðull 1,4

Framkvæmdin varð dýrari þegar notast var við brotnu steypuna. Í fyrsta lagi þurfti að framleiða efnid og hreinsa í burtu aðskotaefni, vökva þurfti meira en venjulega og svo þurfti að leggja steypuna út í tveimur lögum sem krafðist meiri tíma. Eitthvað var einnig um kapla sem stóðu uppúr styrktarlaginu sem þurfti að klippa á. Í þessu verki er talið að vegagerð með brotnu steypunni hafi verið um 65% dýrari heldur en hin hefðbundna vegagerð.

## 2.2 Svíþjóð

Árið 2004 gáfu gaf sænska vegagerðin (Vägverket) út ritið „Allmän teknisk beskrivning, krossad betong i vägkonstruktioner“ eða almenna tæknilýsingu 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 frammistöðu þeirra. Vegirnir voru frá Malmö í suðri til Luleå í noðri, umferð á vegunum var lítil til miðlungs mikil en einnig var brotin steypa notuð í iðnaðarplan við pappírsværsmiðu og á aðkomuvegi og bílastæði við veitingahús. VTI gerði mælingar í felti og á rannsóknarstofu. Í felti var mælt með falllóði, hjólför mæld og sprungur kortlagðar. Á rannsóknarstofu var gert dynamískt þríasapróf á mismunandi samsetningu brotinnar steypu. Niðurstöður þessarar mælinga skapaði grunn fyrir fyrr nefnda handbók um notkun brotinnar steypu í vegbyggingar.

Í Svíþjóð hefur brotin steypa verið nýtt í vegbyggingar um áraraðir í stað malar og bergs við góðan orðstýr. Árið 2001 var magn endurunnnar brotinnar steypu um 1-1,5 milljón tonn á ári, þrátt fyrir að vera lítil prósent 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 þ.e.a.s. að sem minnst af aðskotaefnum séu í steypunni. Með

tímanum getur brotna steypa bundist og þar með aukið styrk sinn og stöðugleika, sem gerir hana enn ákjósanlegri kost.

Þær kröfur sem svíar gera til brotinnar steypu eru listaðar í töflu Tafla 3, en flokkunin byggist á hreinleika og styrk (Vägverket, 2004). Tryggja verður að ekki séu efni í steypunni sem geta verið skaðleg umhverfinu s.s. PAH, asbest, kvikasilfur o.s.frv. 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 hæðsta 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			
	BROTIN STEYPA	UPPGEFINN STYRKUR STEYPUNNAR		PRÝSTIÞOL KJARNA [MPA]	MICRO DEVAL	MAGN STEYPU, MINNSTA ÞYNGDAR- PRÓSENTA [%]	LEYFILEGT HÁMARKS- MAGN MÚRSTEINA ÞYNGDAR- PRÓSENTA* [%]	LEYFILEGT HÁMARKS- MAGN LÉTTSTEYPU ÞYNGDAR- PRÓSENTA** [%]
NR.		C- GILDI [MPA]	K- GILDI [MPA]					
1	≥ C 30/37	≥ K40	≥ 30	= 25	100	0	0	0
2	≥ C 20/25	≥ K25	≥ 20	= 35	95	5	1	0,5
3	≥ C 12/15	≥ K12	≥ 10	= 50	80	20	5	2
4	-	-	-	-	50	50	50	10

\* 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
- Efnið getur verið viðkvæmt fyrir háum spennum

sem getur aukið líkur á sprungum. En einnig er burðarlag vega finna og því þarf að vinna steypuna meira og þá fellur til meira af fínefnum sem ekki geta farið í vegbygginguna. 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 4 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 skal sýni af stærðinni 11,2/16 mm hafa hæsta LA gildi 40 þ.e.a.s. LA<sub>40</sub>.

Kornakúrfa KB og KBT samsvara kornakúrfu 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. SG I og SG II eru almennar kornadreifingar í Danmörku. Kornadreifingu efnanna má sjá í töflu 5 og brothlutfallið (*i*) í töflu 6.

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

Tafla 6 Brothlutfall í fyrir flokka KB og KBT I.

SIGTI MM	i MIN [%]	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 hefur verið að breytast 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	INNIHALD			
		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 CM3/KG	≤ 10 CM3/KG	≤ 15 CM3/KG	≤ 20 CM3/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>b</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.

Í skýrslu 130 frá 2004 eru settar fram kröfur til brotinnar steypu nýtt í burðarlög vega (Pihl o.fl., 2004). 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 en 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 tölfu 5 og 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 í skal 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 kosnaði. 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. Í dag er brotin steypa notuð í burðar- og styrktarlög vega, og hefur ný sjálenska vegagerðin skilgreint brotna steypu í



leiðbeiningarritum sínum (Phua o.fl., 2016). Í TNZ M/4: 2006 (Transit New Zealand, 2006) er RCC eða endurunnin brotin steypa skilgreind sem burðarlagsefni, sbr. töflu 11. Eins og í öðrum löndum eru gerðar kröfur til kornadreifingar, styrks, efnasamsetningar og endingar.

Tafla 11 Kröfur sem gerðar eru til brotinnar steypu á Nýja Sjálandi (Transit New Zealand, 2006).

PRÓFUNARÁÐFERÐ SKV. NZS 4407: 1991	PRÓF NÚMER	RCC BURÐARLAGSEFNI
<b>SKILGREINING</b> ÞESSAR KRÖFUR ERU BYGGÐAR Á TRANSPORT SOUTH AUSTRALIA'S PAVEMENT MATERIAL SPECIFICATION PART 215 RCC SÝNIR SAMBÆRILEGA FRAMISTÖÐU OG HIGH QUALITY M4 STEINEFNI OG HEFUR ÞAÐ VERIÐ SANNAÐ MEÐ CAPTIF (HRAÐAÐ ÁLAGSPRÓF) AF TRANSIT NZ.		RCC eða endurunnin brotin steypa er samsett af brotinni klöpp sem er húðuð með sementi með eða án sands / öðrum fylliefnum, sem hefur verið framleidd við skilgreint ferli til að standast körfur um kornadreifingu og innihald aðskotaefna. RCC skal vera samsett af hreinni, harðri, endinga góðri, köntuðum brotum af steypu. Þessar skilgreiningar eiga við burðarlag en styrktarlag skal standast kröfur M/3 efnis. Hugsanleg frávik frá þessum kröfum eru leið ef efnið uppfyllir kröfur TNZ M22, og samþykkt af Transit New Zealand. Tiltekið bæjarfélag verður að hafa samþykkt notkun efnisins.
<b>UTANAÐKOMANDI EFNI</b> <b>AÐSKOTAEFNI</b> ÞESSAR KRÖFUR ERU BYGGÐAR Á TRANSPORT SOUTH AUSTRALIA'S PAVEMENT MATERIAL SPECIFICATION PART 215		Prósenta af aðskotaefnum skal vera prófað skv. RTA Test Method T276. Prósentan af óæskilegum efnum skal ekki vera hærri af massanum en eftirfarandi: Flokkur I – gler, múrsteinar, keramik og malbik < 3% Flokkur II – veggfóður, leir og önnur efni sem molna < 1% Flokkur III – plast, gúmmí, bik, pappír, timbur og önnur lífræn efni < 0,5% Ekkert efni í flokki II og III má vera eftir á sigti 37,5 mm eða stærra RCC efnið má alls ekki innihalda asbest eða asbest trefjar Prófa skal efnishlutfall RCC þegar aðrir eiginleikar eru prófaðir
<b>CRUSHING RESISTANCE</b>	3.1	> 130 kN
<b>CALIFORNIA BEARING RATIO</b>	3.15	> 80%
<b>SIGTA STÆRÐIR</b>		19 – 37,5 mm > 70% 9,5 – 19,0 mm > 70% 4,75 – 9,5 mm > 70%
<b>KORNADREIFING</b>		<u>AP40</u> 37,5 - 9,5 mm – 19 - 4,75 mm – 27 - 47 9,5 - 2,36 mm – 17 - 41 4,75 - 1,18 mm – 8 - 30 2,36 mm - 600 µm – 6 - 24 1,18 mm - 300 µm – 5 - 21 600 - 150 µm – 3 - 19
<b>FÍNEFNI</b>		
<b>PLASTICITY INDEX</b>	3.4	< 5
<b>WET SIEVING TEXT</b>	3.8.1	
<b>KORNADREIFING FÍNEFNA</b>		<u>AP40</u> 75 mm – 100 63 mm – 100 37,5 mm – 98-100 19 mm – 76-94 9,5 mm – 57-75 4,75 mm – 38-58 2,36 mm – 27-47 1,18 mm – 19-39 600 µm – 12-32 300 µm – 6-26 150 µm – 0-22 75 µm – 0-14
<b>SÉRSTAKAR ATHUGASEMDIR</b>		Hauga af RCC skal ekki geyma nálægt vatni Ekki er ráðlagt að nota efnið þar sem mikið streymi vatns er.

Talið er að kostnaður við notkun endurunninnar steypu sé ekki meiri heldur en þegar ferskt 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).

Tafla 12 Meðaltals núningstap gildi þegar prófað er með Los Angeles og Micro Deval prófunum.

EFNI	LOS ANGELES NÚNINGSTAP* (%)	MICRO DEVAL NÚNINGSTAP* (%)
GÖMUL STEYPA	30,0	19,6
NÝ STEYPA	30,4	21,0
MÚRSTEINAR	36,4	26,1

\* Abrasion loss

Verið er að gera töluvert af rannsóknum á endurunninni brotinni steypu þar sem krafan um að nýta efnið í vegbyggingar er alltaf að aukast og viðskiptavinir/notendur því farnir að krefjast meiri upplýsinga um efnið. Þannig hefur t.d. núningsmótstaða efnis verið könnuð, en gerð var tilraun með þrenns konar efni, afgangsefni af steypustöðvum, 15-20 MPa steypu úr t.d. gangstéttum, kantsteinum og að lokum múrsteinum. Var mótstaðan könnuð með Micro Deval til að kanna mótstöðuna í blautum skilyrðum (skv. ASTM D6928 – 10 “Standard test method for resistance of coarse aggregate to degradation by abrasion in the Micro Deval apparatus”) og með Los Angeles prófi til að kanna mótstöðuna við þurr skilyrði (skv. NZS 4407:1991 Test 3.12 “The abrasion resistance of aggregate by use of the Los Angeles machine”). Niðurstöðurnar eru sýndar í töflu 12. Niðurstöðurnar gáfu til kynna að gömul steypa hefði heldur betri núningsmótstöðu heldur en ný steypa við blaut skilyrði (Micro Deval) en munurinn væri ómarktækur við þurr skilyrði (Los Angeles próf). Til samanburðar er efni úr námum með meðaltals núningsmótstöðu 7,5% prófuð með Micro Deval (Phua o.fl., 2016). Í allmörgum löndum eru gerðar kröfur um núningsmótstöðu og er hún í Winnipeg (Kanada) og New Jersey (Ástralíu) 30% fyrir efni í burðarlagi prófuð með Los Angeles.

### 3 KRÖFUR TIL BURÐARLAGS VEGA 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 mælda efnisstuðla brotnu steypunnar. (Ásbjörn Jóhannesson o.fl., 2010; Vegagerðin 2012 & 2016; Hafðís Eygló Jónsdóttir og Gunnar Bjarnason, 2013).

Steypuafgangarnir voru brotnir niður í 0/22 mm kornastærð. Efnið var síðan prófað til að kanna eiginleika þess til notkunar í burðarlag vega, bæði óbundin sem og sementsbundin. Steinefnapróf voru framkvæmd á rannsóknastofu EFLU. Lágmarksprófanir sem gera þurfti voru:

- Kornadreifing
- Kornalögun / Kleyfni
- Berggreining
- Brothlutfall
- Ef 5-6% < 0,063mm – Hydrometer próf / laserpróf (fínefnahlutfall)
- Húmuspróf / þjáltnipróf
- Frostþol
- Styrkleikapróf – Bg stuðull / LA próf

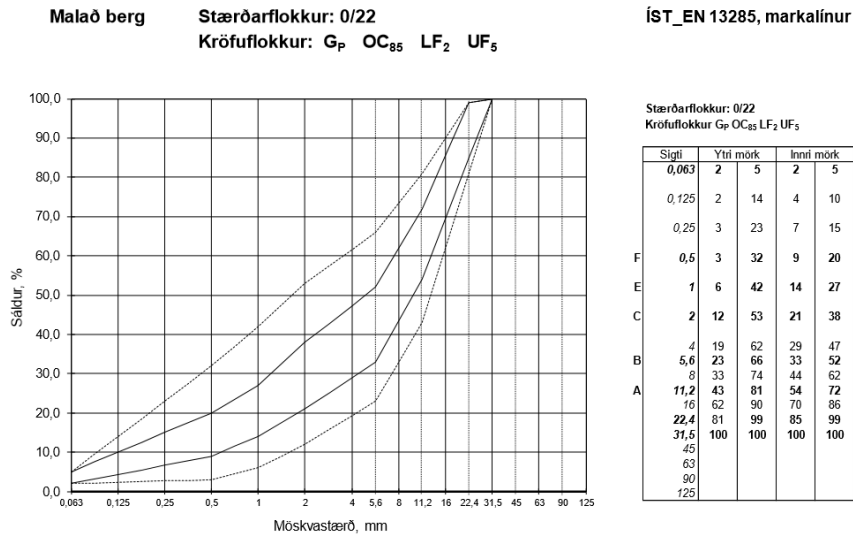
Lágmarksgildi fyrir mismundandi árdagsumferð þungra ökutækja ( $\dot{A}DU_p$ ) má sjá hér að neðan (Vegagerðin, 2016).

#### 3.1 Kornadreifing

##### 3.1.1 Burðarlög

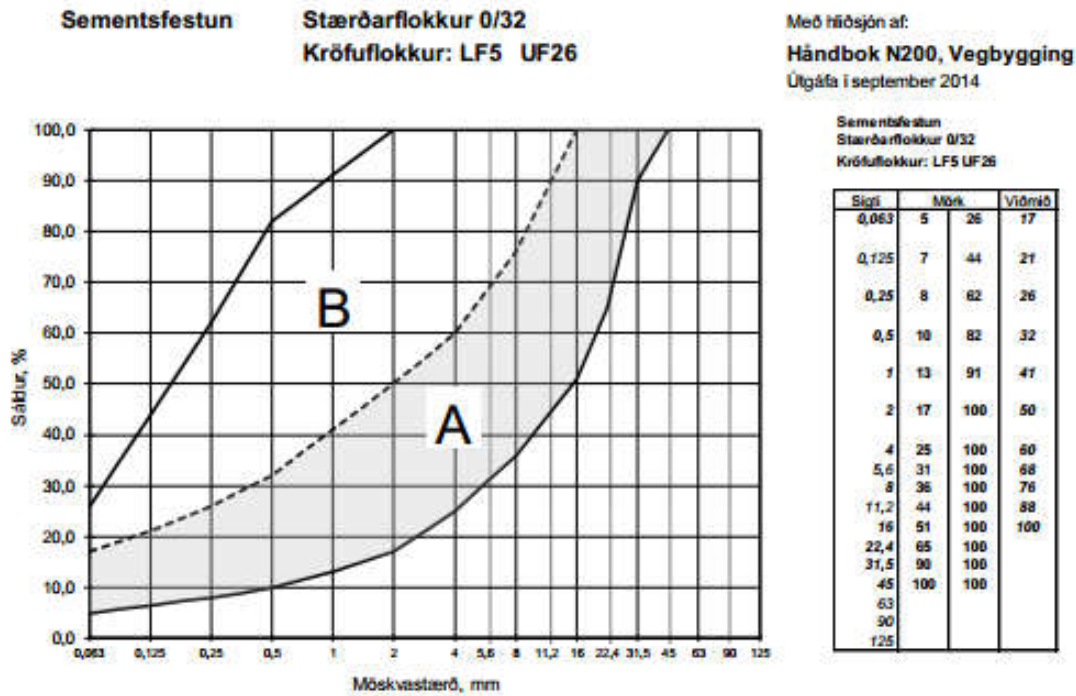
Kröfur til kornadreifingar óbundinna burðarlagsefna miðast við staðalinn ÍST EN 13285 „Unbound mixtures – Specification”, þar sem neðri flokkunarstærðin er  $d=0$  mm og efri

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. Þar sem einungis er notað malað steinefni í steinsteypu var álitnið að eðlilegast að nota marklínur fyrir malað berg.



Mynd 5 Marklínur fyrir malað 22 mm berg í burðarlög (Vegagerðin. 2016).

Sementsbundin burðarlög eru yfirleitt notuð á umferðarmikla 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.



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

### 3.1.2 Styrktarlag

Kröfur til kornadreifingar styrktarlags eru ákvarðar samkvæmt stöðlunum ÍST EN 13285 og ÍST EN 13242 með eftirfarandi hætti:

- með vali á stærðarflokki – algengastir eru óflokkað efni 0/45, 0/63, 0/90, 0/125 og 0/180 mm.
- með kröfum á hámarks magn fínafna (<0,063 mm og <0,02 mm) – fínafnainnihald skal miða við flokk UF<sub>7</sub> þ.e.a.s. fínafni skal ekki vera meira en 7%. Ef fínafni er meira en 6% skal tryggja að hlutfall efnis ≤ 0,02 mm sé ≤ 3%.
- með kröfum um grófleikatölu ( $C_u = D_{60}/D_{10}$ ) – fyrir neðra styrktarlag skal  $C_u \geq 5$ , en fyrir efra styrktarlag skal  $C_u \geq 10$  þar sem umferð þungra bíla er takmörkuð en stærri en 15 fyrir umferðarþyngri vegi.
- með kröfum um sandhlutfall – í efra styrktarlagi skal hlutfall efnis minna en 4 mm ekki vera meira en 45 %.
- með kröfum um stærstu steina – stærstu leyfilegu steinar í neðra styrktarlagi er 250 mm en 150 mm í efra styrktarlagi.
- með kröfum um undirstærðir og yfirstærðir – þegar verið er að skoða óflokkað efni er miðað við  $G_A$  80-90, þar sem 80-90 % eiga að smjúga sigti efri flokkunarstærðar.

### 3.2 Kornalögun

Kröfur til kornalögunar steinefna í burðarlög koma fram í töflu 13 (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>, skal að hámarki vera X %.

Tafla 13 Kröfur til kornalögunar steinefna í buðarlög (Vegagerðin, 2016).

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

### 3.3 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 14. Evrópustaðallinn sem notaður er til að meta styrk steinefna, er LA gildi eða Los Angeles gildi. Auk þess hefur hérlandis verið notað svokallað Bg-próf sem er ekki viðurkennt sem Evrópustaðall. Bg-stuðullinn er prófaður á efni með samsetta lokaða kornakúrfu. Í þessu verkefni var valið að mæla LA-gildi til þess að auðveldara yrði að bera niðurstöðurnar saman við styrkleikakröfur annarra landa.

Tafla 14 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, %	EF 3.FLOKKS EFNI SKV. BERGGREININGU ER MJÖG UMMYNDAD Bg STUÐULL	EF 3.FLOKKS EFNI SKV. BERGGREININGU ER FERSKT, FÍNBLÖÐRÓTT BASALT Bg STUÐULL
≥ 400	LA <sub>20</sub>	LA <sub>25</sub>	≤ 8	≤ 10
≥ 100	LA <sub>20</sub>	LA <sub>30</sub>	≤ 8	≤ 11
≥ 10	LA <sub>25</sub>	LA <sub>35</sub>	≤ 10	≤ 14
< 10	LA <sub>25</sub>	LA <sub>40</sub>	≤ 12	≤ 16

### 3.4 Berggreining

Í töflu 15 má sjá leiðbeinandi kröfur Vegagerðarinnar um leyfilegt magn steinefna í 3. gæðaflokki fyrir burðarlagsefni. Kröfurnar sem settar eru fram miða við greiningu á sýni með 5,6-11,2 mm steinefni. Þegar verið er að skoða burðarlagsefni 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 15 Leiðbeinandi kröfur um leyfilegt magn steinefna í 3.flokki (Vegagerðin, 2016).

FJÖLDI ÞUNGRA ÖKUTÆKJA, ÁDU <sub>p</sub>	HLUTI SÝNIS (%) Í 3. GÆÐAFLOKKI SAMKVÆMT BERGGREINUNGU*	
	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.

### 3.5 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 16. 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 16 Kröfur sem gerðar eru á brothlutfalli steinefna í burðarlögum vega (Vegagerðin 2016).

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

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

### 3.6 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.

### 3.7 Frostþolspróf

Kröfur sem gerðar eru til frostþols steinefna sem nota á í burðarlögum vega eru sýnd í töflu 17, þar sem EC 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

frankvæma frostþolspróf ef 3.flokks efni berggreiningar, það er aðallega mjög ummyndað basalt og stenst ekki gæðaflokkun og eins ef of mikið fínefni er í efninu.

Tafla 17 Kröfur til niðurstöðu frostþolsprófs fyrir steinefni í burðarlög (Vegagerðin, 2016).

FJÖLDI ÞUNGRA ÖKUTÆKJA, ÁDU <sub>p</sub>	FLOKKUN SKV. ÍST EN 13242 FROSTÞOLSGILDI, %
≥ 400	F <sub>EC</sub> 8
≥ 100	F <sub>EC</sub> 14
≥ 10	F <sub>EC</sub> 14
< 10	F <sub>EC</sub> 25



## 4 NIÐURSTÖÐUR PRÓFANA Á ENDURUNNINNI STEYPU OG SAMANBURÐUR VIÐ KRÖFUR

Í þessum kafla verður gerður samanburður á niðurstöðum prófana á endurunninni steypu sem notuð er í verkefnum og þeirra krafna sem Vegagerðin hefur sett fram í riti sínu „Efnisrannsóknir og efniskröfur – Leiðbeiningar við hönnun, framleiðsla og framkvæmd“ (Vegagerðin 2016) og listað er upp í kaflanum hér að framan. Vegagerðin á Íslandi hefur ekki sett fram efniskröfur vegna endurunninnar steypu en það hafa vegagerðirnar í nágrannalöndunum hins vegar 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 styrktarlög og burðarlög göngu- og hjólastíga. Þar sem margar þjóðir leyfa brotna steypu í burðarlög og Evrópu staðlarnir gera ráð fyrir að nota megi efni burt séð frá uppruna svo lengi sem það standist efniskröfur þá eru brotna steypa í þessu verkefni borin saman við hefðbundið burðarlagsefni.

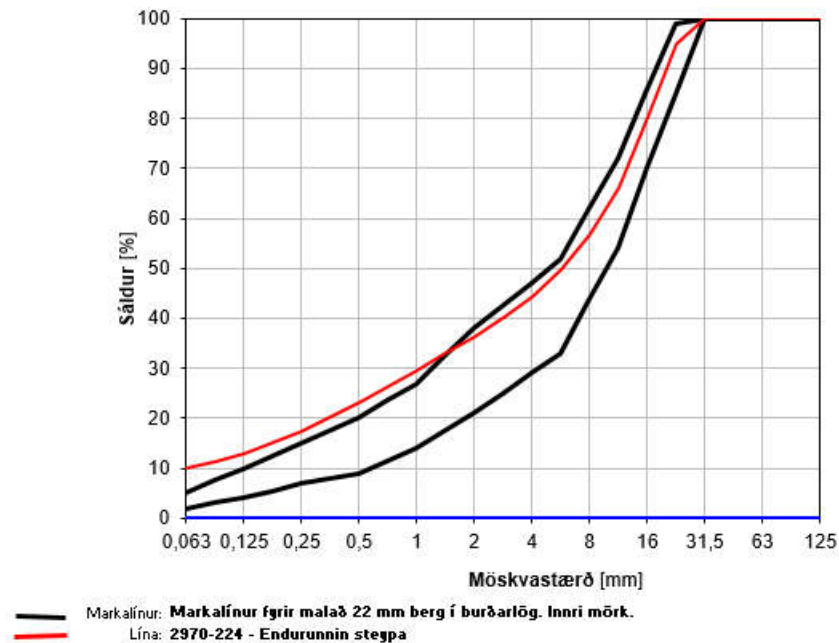
Þær prófanir sem gerðar voru á efninu voru kornadreifing, kornalögun og LA próf. Ekki var talin þörf á því að gera eftirfarandi prófanir þar sem fylliefnin sem notuð eru í steypu á höfuðborgarsvæðinu hefur þegar verið prófað og staðist kröfur. Prófin eru berggreining, frostþol, húmus og þjálmi. Þar sem verið var að prófa „hreina“ brotna steypu voru engir utanaðkomandi aðskotaefni og efnagreining því ekki nauðsynleg. Niðurstöðublöð rannsóknarstofu má sjá í viðauka A.

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.

### 4.1 Kornadreifing

Við prófun á kornadreifingu var farið eftir staðlinum ÍST EN 933-1. Kornadreifingu efnisins má sjá á mynd 7, þar sést að efnið fellur innan ytri marklína fyrir 0/22 mm malað berg utan

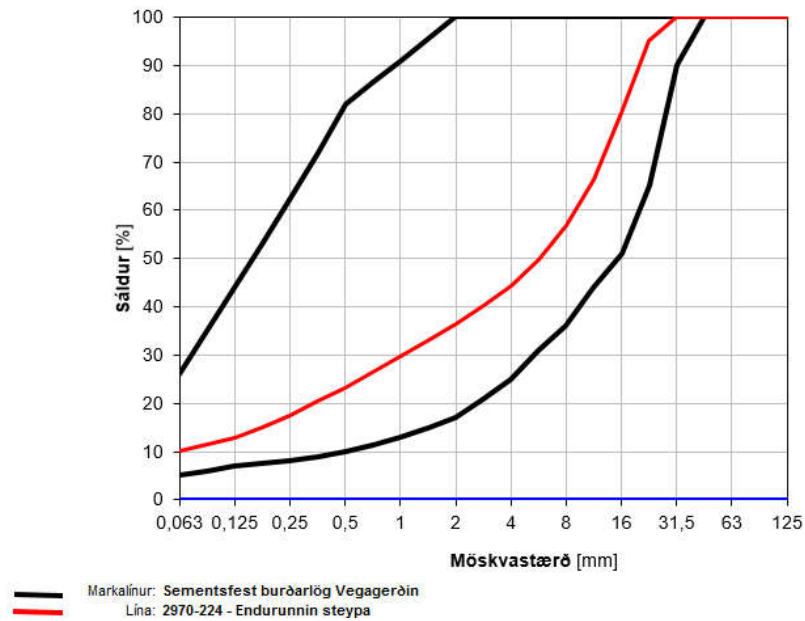
Þess að fínefnainnihald efnisins er of hátt eða 10,1%. Það sama á við ef litið er til norsku handbókarinnar. Gæta þarf að uppstillingu þegar efni verður malað næst, til þess að fá ferilinn neðar og hugsanlega að taka undan fínefni.



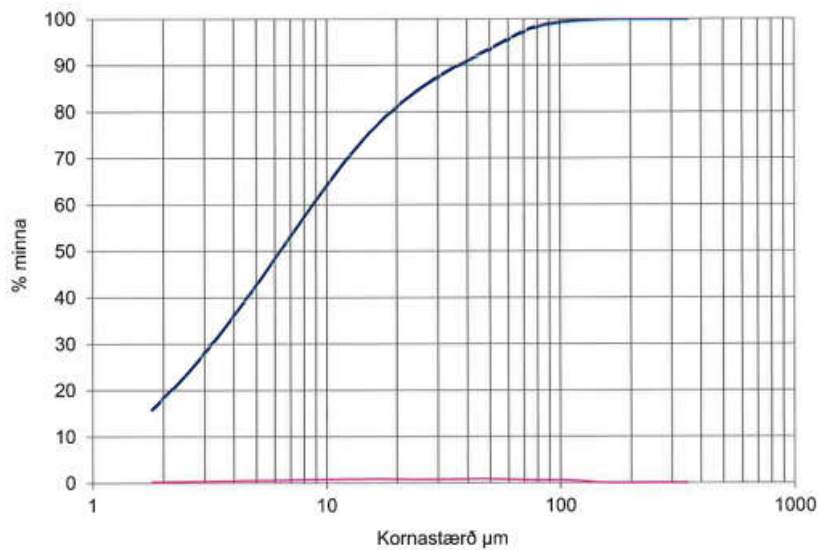
Mynd 7 Niðurstöður kornadreifingar á endurunninni steypu sem prófuð var í verkefninu ásamt innri markalínum skv ÍST EN 13285.

Ef efnið er hins vegar borið saman við kornadreifingu fyrir sementsbundin burðarlög mynd 8 þá fellur það innan þeirra markalína sem þar eru gefin. Í sementsbundnum burðarlögum þá má fínefnainnihaldið 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.

Gerð var kornadreyfing á fínefnahluta efnisins < 0,063 mm. Þetta var gert með mæliaðferðinni „Sympatec HELOS / RODOS þurrmælingu“. Niðurstöður má sjá á mynd 9.



Mynd 8 Niðurstöður kornadreifingar á endurunninni steypu sem prófuð var í verkefninu ásamt markalínum fyrir sementsfest burðarlög.



Mynd 9 Kornadreyfing á finefnahluta (<0,063 mm) endurunninnar steypu sem prófuð var í verkefninu.

## 4.2 Kornalögun

Efnið var prófað skv staðli ÍST EN 933-3 á efni > 4 mm. Kleyfilstuðullinn mældist  $FI_5$  eða 5% sem er vel innan þeirra marka sem Vegagerðin setur sem og norska handbókin. Á umferðarþyngstu vegunum skal kleyfnistuðullinn vera minni en 20% eða  $FI_{20}$ .

### 4.3 Styrkleikapróf

Prófunaraðferðin til að meta styrk efnisins var Los Angeles. LA stuðullinn er notaður víðar heldur en Bg stuðullinn, sem auðveldar samanburð við kröfur annarra þjóða. Endurrunna steypan reyndist hafa LA-gildi rétt innan við 25%, eða LA<sub>24,8</sub>. Fyrir umferðarmestu vegi landsins skal LA-gildið vera að hámarki 25% ef 3.flokks efni samkvæmt berggreiningu er ferskt, fínblöðrótt basalt eins og við erum með hér. Efnið hefur því nægan styrk.

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

### 4.4 Berggreining

Berggreining var ekki gerð sérstaklega í þessu verkefni. Þar sem steypan sem var endurunnin í verkefninu kom af höfuðborgarsvæðinu, má ganga að því vísu að steinefnið sem notast var við í steypunni hafi verið ferskt nokkuð blöðrótt basalt stenst efnið ýtrustu kröfur Vegagerðarinnar. En fyrir umferðarmestu vegi landsins skal LA-gildið vera að hámarki 25% ef 3.flokks efni skamkvæmt berggreiningu er ferskt, fínblöðrótt 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.

### 4.5 Brothlutfall

Brothlutfall hefur ekki verið prófað, en það gæti reynst nauðsynlegt.

### 4.6 Húmus / Þjálmi

Þar sem steinefni sem notað er til steinsteypuframleiðslu skal vera laust við lífrænar leifar og má ekki vera þjálft, var ekki talin þörf á því að skoða þessa eiginleika sérstaklega. Við sjónmat sáust engar lífrænar leifar sem og efnið virtist vera laust við þjálmi. Húmus og þjálmi var því ekki prófað sérstaklega. Þetta var metið sjónrænt.

### 4.7 Frostþolspróf

Eins og fram kemur í kafla 3.8 þarf einungis að framkvæma frostþolspróf ef 3.flokks efni berggreiningar er að 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. Vegna þessa þótti ekki ástæða til að gera frostþolspróf á endurrunnu steypunni sem notað var í verkefninu.

*Efnið hefur hins vegar of hátt fínefnahlutfall. Þess vegna þarf samkvæmt kröfum að gera frostþolspróf og Laser/Hydrometer. Talið er rétt að setja efnið í laser og sjá hvaða fínefni eru til staðar í efninu. Þarna erum við ekki að horfa á mineralin leir eða silt heldur er það kornastærðin silt og leir sem við viljum ekki fá. Því þarf að skoða fínefnin sem verða til. Hvort verða til leirstærðir eða siltarstærðir. Leirstærðinar eru þær stærðir sem við viljum ekki.*

*Hins vegar er spurning hvort að skoða þurfi frostnæmni efnisins sérstaklega þar sem töluvert af fínefni er í efninu, en líklegt má teljast að töluverður hluti þess sé óhvarfað sement sem bindi efnismassann saman og valdi þar af leiðandi ekki frostþenslu.*

## 5 LOKAORÐ

Ljóst er að á næstu árum verður endurvinnsla og endurnýting stöðugt mikilvægari, bæði til þess að forðast aukna námuvinnslu sem og til að minnka urðun og landfyllingar. 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 notuð í landfyllingar.

Efni frá Steypustöðunni var brotið niður upp í Vatnsskarðsnámum í 0/22 mm efni og prófað á rannsóknarstofu EFLU verkfræðistofu. Niðurstöður gefa tilefni til bjartsýni þar sem efnið stóðst kröfur sem Vegagerðin gerir til burðarlagsefnis utan kornadreifingar. Kornadreifingin verður stillt af þegar næst verður brotið, en til stendur að brjóta efni aftur í vor, sannreyna efniseiginleikanna og mögulega prófa efnið í felti.

Þegar litið er til hinna Norðurlandanna stenst efnið einnig kröfur utan kornadreifingar. En á hinum Norðurlöndum er Micro-Deval gildið kannað en það hefur ekki verið kannað hérlendis. 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 hinum Norðurlöndunum. Í Evrópu stöðlunum er einungis litið til eiginleika efnanna en ekki uppruna.

Margvíslegur ávinningur er af verkefni sem þessu. Hugsanlega er að opnast möguleiki á nýtingu á endurunninni steypu til vegagerðar. Rannsóknir 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. Kröfur um endurnýtingu og endurvinnslu eru alltaf að verða meiri og því nauðsynlegt að halda áfram að þróa aðferðir til aukinnar endurvinnslu.

## 6 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, B01049, 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.

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.

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.

Hafdís Eygló Jónsdóttir og Gunnar Bjarnason (2013). Vinnsla steinefna til vegagerðar. Tækjabúnaður, verktækni og framleiðslueftirlit. 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, verision 2. SEPA, Skotland.
- Slaughter, G. (2006). Construction of New Zealands 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.



- 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.
- Vägverket (2004). Allman teknisk beskrivning, Krossad betong i vagkonstruktioner, Publikation 2004:11. Vagverket, 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



Hendilshar: Hlíðarskúli 9, 110 Reykjavík  
Sími: 412 0000 - Fax: 412 0001  
Tölvupóstur: efla@epla.is  
Vefbáttur: www.epla.is

## Kornadreifing

Verksaupi  
Vegagerðin  
Umboðið af

Verk nr.  
2970-224  
Prentað dags.  
1.2.2017

### Upplýsingar um sýni

Sýni	Tiltalun	Sýni nr.
Endurunnin steypa	Endurunnin steypa	1105
Sýni mælt	Sýnapró	Upplátt nr. 950

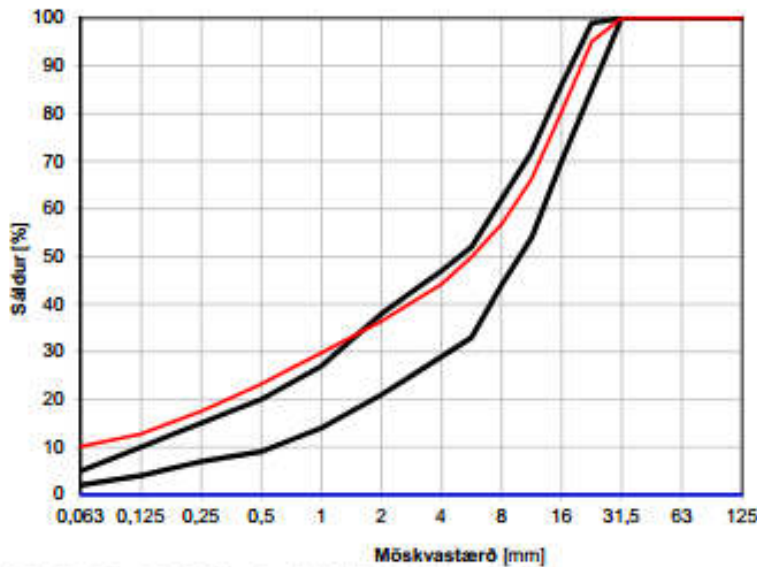
### Efniseiginleikar

Raki (%)	22,21%	Kornumþyngd $\rho_{\text{sk}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	Keyfnistuðull $F_1$	
Fínefni (< 0,063 mm) (%)	10,1%	Mettivatn $W_{\text{sk}} \text{ (%)}$	Yfirborð $(\text{m}^2/\text{kg})$	
Húmus H		Rúmp. (bulk), þurr $(\text{kg/m}^3)$	Klór (%)	
Slamm (%)		Rúmp. (bulk), y.b.m. $(\text{kg/m}^3)$	Holrymd (%)	

### Kornadreifing

Prófunaraðferð:	Dagsprófunar	Frækv. af
IST EN 933-1, IST 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
(%)	16,1	13	17	23	30	36	44	50	57	66	80	95	100	100	100	100	100



— Marklinur fyrir máláð 22 mm berg í burðarlög, innri mörk.  
— Lína: 2970-224 - Endurunnin steypa

### Tæknileg atriði:

$D_{20}$	-	$D_{50}$	5,63	Flokkun skv. U.S.C.S - Kerfinu:	
$D_{40}$	0,17	$D_{60}$	8,97	Gróftekatala $C_u = D_{60}/D_{10} =$	-
$D_{80}$	1,03	$D_{95}$	17,80	Kornadreifingarstuðull $C_c = D_{40}^2/(D_{60} \cdot D_{10}) =$	-

### Athugasemdir:



Nýsköpunarmiðstöð  
Íslands

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

## Mæling á kornadreifingu með ljörva

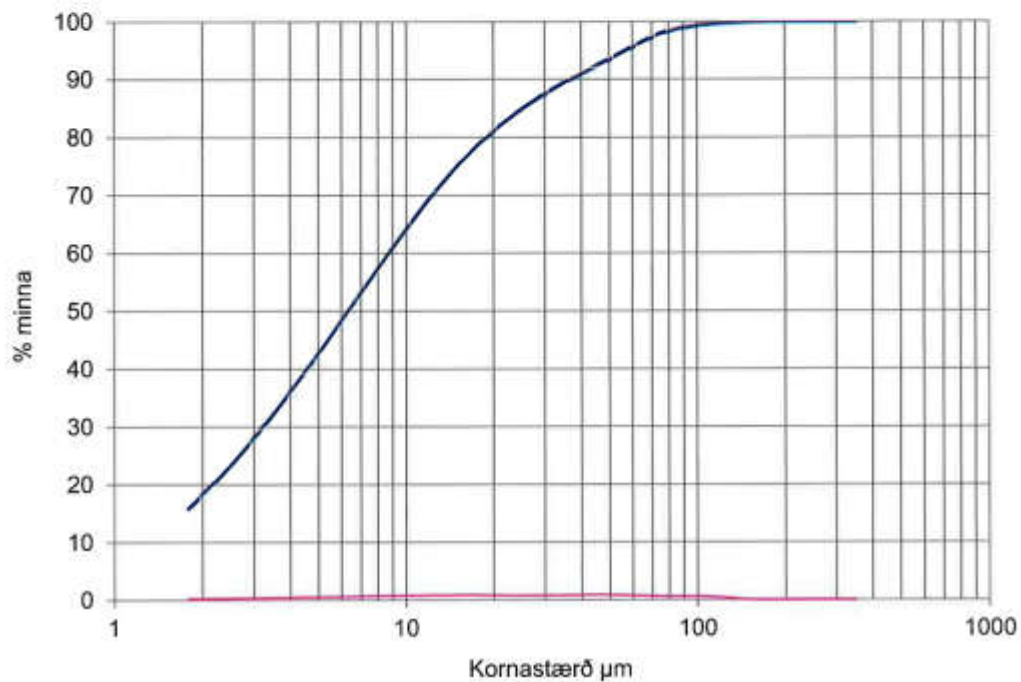
Fyrir:	Verk:
Eflu hf.	2970-224-06
Verkbeiðandi:	Merki:
Þórður Kristjánsson	E
Tengiliður:	Efni:
Þórður Kristjánsson	

Álhugasemdir:  
Eitt sýni, mælt þrisvar sinnum

Mæliaðferð  
Sympatec HELOS / RODOS þurmmæling á sýnishlutanum undir 63 µm

Upplýsingar frá mælingum:  
Efni: Steinefni u. 63µm - Merking: H16-262 E  
Niðurstöður eru meðaltal þriggja hlutamælinga.

µm	350	294	246	206	174	146	122	102	86	72	60	%	d10	d16
%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,8	99,4	98,8	97,5	95,5	µm	1,3	1,8
Stfrv. %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,6	0,6	0,6	0,7	+/-	0,0	0,0
µm	50	42	36	30	25	21	18	15	12	10	8,6	%	d50	d84
%	93,4	91,5	89,7	87,4	84,8	81,9	79,0	75,0	69,3	64,1	59,5	µm	6,4	23,9
Stfrv. %	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	+/-	0,1	1,1
µm	7,4	6,2	5,2	4,4	3,6	3	2,6	2,2	1,8			%	d90	d99
%	54,9	49,3	43,9	38,8	33,0	28,0	24,4	20,4	16,1	> Blá lína		µm	37,1	92,9
Stfrv. %	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	> Fjólublá lína		+/-	2,8	15,3



## 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>IST 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**

### A.3 Los Angeles próf



#### RANNSÓKNASTOFA

Heimilisfang: Höfðabakki 9, 110 Reykjavík

Sími: 412 6000 - Fax: 412 6001

Tölvupóstur: [efla@efla.is](mailto:efla@efla.is)

Vefsíða: [www.efla.is](http://www.efla.is)

## Los Angeles próf

Verkkaupi  
**Vegagerðin**

Umbeðló 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>