

## ENDURUNNIN STEYPA Í BURÐARLÖG VEGA

Niðurbrot og endurvinnsla steyptra mannvirkja til vegagerðar

24.06.2019



## SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ

### SKJALALYKILL

2970-279-SKY-001-V01

### SKÝRSLUNÚMÉR / SÍÐUFJÖLDI

01 / 37

### VERKEFNISSTJÓRI – FULLTRÚI VERKKAUPA

Pórir Ingason  
Hafdís Eygló Jónsdóttir  
Þorbjörg Sævarsdóttir

### VERKEFNISSTJÓRI – EFLA

Þorbjörg Sævarsdóttir

### LYKILORÐ

Endurvinnsla, endurnýting, steypa, fylliefni, mannvirkja og niðurrifs úrgangur, C&D úrgangur.

### STAÐA SKÝRSLU

- Í vinnslu  
 Drög til yfirlustrar  
 Lokið

### DREIFING

- Opin  
 Dreifing með leyfi verkkaupa  
 Trúnaðarmál

### TITILL SKÝRSLU

Niðurbrot og endurvinnsla steyptra mannvirkja til vegagerðar

### VERKHEITI

Endurvinnsla steypu í burðarlög vega

### VERKKAUPI

Vegagerðin  
Vegagerðin  
EFLA

### HÖFUNDUR

Vigdís Bjarnadóttir, Þorbjörg Sævarsdóttir, Guðni Jónsson og Sigurður Loftur Thorlacius

### ÚTDRÁTTUR

Nýbygging mannvirkja krefst mikils magns náttúrulegra fylli- og steinefna. Nýting þeirra er ekki talin umhverfisvæn þar sem efnistaka breytir jafnvægi og ásýnd landsins. Þrátt fyrir að hægt væri að nýta nánast alla steypu úr steiptum mannvirkjum sem brotin steinefni, þá er enn mikið af efni urðað eða sett í landfyllingar. Endurunnin steypa hefur verið og er notuð í styrktar- og burðarlög vega og stíga víðs vegar í heiminum með góðri raun. Margar þjóðir og þar með taldar nágrannaþjóðir Íslands kappkosta við að endurvinnna, endurnýta og endurnota úrgang og aukaafurðir sem falla til við iðnaðarframleiðslu.

Í verkefninu var steypa úr 70 ára gamalli byggingu prófuð og reynsla annarra af notkun endurunninnar steypu tekin saman. Niðurstöðurnar gefa tilefni til bjartsýni, þar sem efnið er gott og full ástæða er til að endurvinnna og nýta það.

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

---

NR.	HÖFUNDUR	DAGS.	RÝNT	DAGS.	SAMÞYKKT	DAGS.
01	Vigdís Bjarnadóttir, Þorbjörg Sævarsdóttir, Guðni Jónsson og Sigurður Loftur Thorlacius	20.05.19	Þorbjörg Sævarsdóttir Hafdís Eygló Jónsdóttir Guðni Jónsson	12.06.19 14.06.19 24.06.19	Þorbjörg Sævarsdóttir	24.06.19

---

## EFNISYFIRLIT

<b>1</b>	<b>INNGANGUR</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>KRÖFUR TIL ENDURUNNINNAR STEYPU Í VEGAGERÐ</b>	<b>7</b>
<b>2.1</b>	<b>Evrópusambandið</b>	<b>8</b>
<b>2.2</b>	<b>Samanburðarlönd</b>	<b>10</b>
2.2.1	Danmörk	10
2.2.2	Noregur	11
2.2.3	Svíþjóð	12
<b>3</b>	<b>VINNSLA ENDURUNNINNAR STEYPU</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>UMHVERFISLEGUR ÁVINNINGUR</b>	<b>18</b>
<b>4.1</b>	<b>Kolefnisspor endurvinnslu steypu borið saman við kolefnisspor nýs efnis</b>	<b>19</b>
4.1.1	Markmið og umfang samanburðar	19
4.1.2	Niðurstöður samanburðar	21
<b>5</b>	<b>EFNISKRÖFUR TIL ÓBUNDINNA VEGAGERÐAREFNA Á ÍSLANDI</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>NIÐURSTÖÐUR PRÓFANA</b>	<b>27</b>
<b>6.1</b>	<b>Kornadreifing</b>	<b>28</b>
<b>6.2</b>	<b>Kornalögun</b>	<b>29</b>
<b>6.3</b>	<b>Brothlutfall</b>	<b>29</b>
<b>6.4</b>	<b>Styrkleikapróf</b>	<b>29</b>
<b>7</b>	<b>LOKAORÐ</b>	<b>30</b>
<b>8</b>	<b>HEIMILDIR</b>	<b>31</b>
	<b>VIÐAUKI A - NIÐURSTÖÐUBLÖÐ RANNSÓKNARSTOFU</b>	<b>33</b>

## 1 INNGANGUR

Nýbygging mannvirkja krefst mikils magns náttúrulegra fylli- og steinefna. Nýting þeirra er ekki talin umhverfisvæn þar sem efnistaka úr árfarvegum, malarhjöllum, árkeilum eða klöpp, breyta jafnvægi og ásýnd landsins. Þrátt fyrir að hægt væri að endurnýta nánast alla steypu úr steyptum mannvirkjum sem brotið steinefni, þá er enn of mikið af efni urðað eða notað í landfyllingar.

Endurunnin steypa hefur verið og er notuð í styrktar- og burðarlög vega og stíga víðs vegar í heiminum með góðri raun. Margar þjóðir og þar með taldar nágrannþjóðir Íslands kappkosta við að endurvinna, endurnýta og endurnota efni og aukaafurðir sem falla til við iðnaðarframleiðslu. Í náninni framtíð er líklegt að erfiðara verði að finna góðar námur, strangari kröfur verði um efnistöku og að sama skapi verði tekin upp gjaldtaka við alla urðun.

Árið 2000 notaði Vegagerðin um 300 þús. rúmmetra af jarðefnum á svæðinu frá Reykjanesi upp á Kjalarnes og á landinu öllu um 4,5 milljón rúmmetra. Sama ár féllu til um 50 þús. tonn af steypu á höfuðborgarsvæðinu sem hefði mátt endurvinna sem burðarlagsefni (Wigum o.fl., 2002). Hvenær farið verður í harðari aðgerðir með auknum kröfum og gjaldtöku vegna urðunar á Íslandi er bara tímaspursmál. Vegna þessa er nauðsynlegt að kanna mismunandi möguleika á endurvinnslu, endurnýtingu og endurnotkun steypuefnis og er þetta rannsóknarverkefni liður í því.

Endurnýting kallast það þegar viðkomandi hlutur er notaður aftur án þess að hann sé unninn frekar, á meðan endurvinnsla felur í sér umbreytingu eða vinnslu úrgangsefna í vöru til upprunalegra eða annarra nota. Endurvinnsla er mun umhverfisvænni en förgun og má með henni skapa mikil verðmæti og spara náttúruauðlindir.

Markmið verkefnisins var að kanna hvort endurunninn steypa sem fellur til við niðurbrot mannvirkja standist kröfur Vegagerðarinnar til notkunar í styrktar- og burðarlög vega. Ásamt því að prófa efnið var litið til reynslu annarra landa af nýtingu endurunninnar steypu til vegagerðar. Niðurstöður þessa verkefnis sem og reynsla annarra gefa tilefni til bjartsýni, þar sem full ástæða er til að endurvinna og nýta svona efni. Niðurbrotin steypa úr mannvirkjum getur innihaldið aðskotarefni, svo sem steypustyrktarjárn, einangrun og annan byggingarúrgang og þess vegna þarf að kanna hvernig best er að brjóta efnið niður, hreinsa annan byggingarúrgang úr steypunni og auk þess kanna efniseiginleika niðurbrotna efnisins.

Í verkefninu er hugmyndin að byggja á fyrra verkefni höfunda „Endurunnin steypa í burðarlög vega“ og kanna notkun steypu sem fellur til við niðurrif steyptra mannvirkja. Þegar kemur að niðurrifi mannvirkja þá telst íslenskur markaður vera smár og lítið er um niðurrifsverkefni, en þeim verkefnum fer þó fjölgandi. Til að hægt sé að gera ráð fyrir notkun efnisins í útboðum og hönnun, þarf að vera visst framboð af efninu. Best væri ef hægt væri að nýta efnið áfram á sama stað eða í nágrenni við þann stað sem það var rifið. Þess vegna er afar mikilvægt að kanna eiginleika niðurbrotna efnisins, hvernig best er að vinna það og nýta.

Í þessari rannsókn voru tekin sýni úr steypuúrgangi frá niðurrifi gamla lðnaðarbankans við Lækjargötu 12 í Reykjavík. Húsið var reist á árunum 1959-1963. Sýnið átti upprunalega að brjóta af ÍAV (Íslenskum Aðalverktökum) en vegna smæðar þess var það sent til NMÍ (Nýsköpunarmiðstöð Íslands) þar sem það var malað niður í 0/22 mm kornastærð. Eiginleikar efnisins voru síðan kannaðir á rannsóknarstofu EFLU. Innendar 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; Hafdís Eygló Jónsdóttir og Gunnar Bjarnason, 2013; 2018).

Fáar rannsóknir hafa verið gerðar á endurunninni steypu hér á landi, en þar ber helst að nefna verkefni sem unnið var af Rannsóknarstofnun Byggingariðnaðarins og tekið saman í skýrslu árið 2002, „Byggingarúrgangur á Íslandi, Gagnagrunnur og umhverfismat, Hlutar II & III: Endurunnin steypa – nýtt hráefni?“. Í þeirri rannsókn voru tekin nokkur sýni úr húsi við Höfðatún 2 í Reykjavík og efnið brotið og rannsakað. Ekki finnast nákvæmar heimildir um byggingartíma hússins, en það var reist fyrir árið 1950. Í skýrslunni kom fram að styrkur endurunu steypunnar var mjög lítill en skv. leiðbeiningarriti Vegagerðarinnar væri efnið einungis nýtanlegt í styrktarlag á mjög umferðarlitlum vegum. Með þessu rannsóknarverkefni er í raun verið að endurtaka þær prófanir nú tæpum 20 árum seinna, en heimildir benda til þess að helsti veikleiki endurunninnar steypu sé í aðskotaefnum svo sem timbur og plast sem finnast í steypunni. Ekki var tekið fram í skýrslunni frá 2002 hversu mikið hafi verið af aðskotaefnum í steypunni.

Í skýrslu EFLU frá árinu 2018, er einnig fjallað um endurrunna steypu í burðarlög vega. Þar var hins vegar lögð áhersla á nýtingu steypuafganga sem falla til við starfsemi steypustöðva og hvernig það efni nýttist til vegagerðar. Til útskýringar má nefna að:

- Steypa sem fellur til á steypustöðvum er alltaf ný steypa án allra aðskotaefna s.s. plasts og timburs. Þetta efni er alltaf með töluvert af óhvörfuðu sementi.
- Gömul steypa úr byggingum er aftur á móti oft með eitthvað magn aðskotaefna og inniheldur ekki óhvarfað sement nema þá í óverulegu magni.

Var farið yfir leiðbeiningarrit sem t.d. Svíar, Norðmenn og Danir hafa gefið út, en einnig voru dæmi tekin frá Bandaríkjunum, Nýja-Sjálendi og Bretlandseyjum. 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 stórt hlutfall endurunninnar 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).

## 2 KRÖFUR TIL ENDURUNNINNAR STEYPU Í VEGAGERÐ

Aukin endurnýting og endurvinnsla í löndum Evrópusambandsins sýnir að lög og reglugerðir gefin út síðustu ár, eru að skila árangri. Í skýrslu Fischer og Werge frá árinu 2009 er fjallað um hlutfall endurvinnslu og endurnýtingar á mannvirkja og niðurrifs úrgangi Evrópusambandslanda og Noregs, og þróun þess á 10 ára tímabili, milli árana 1998 til 2008. Mörg lönd Evrópusambandsins hafa nú þegar náð háu hlutfalli í endurvinnslu á þessum úrgangi. Árið 2006 var áætlað að um 850 milljón tonn af byggingarúrgangi félli til í löndum Evrópusambandsins á ári, sem er um 31% af öllum úrgangi frá Evrópusambandslöndunum (Fischer og Werge, 2009).

Mörg ríki í Evrópu hafa þróað sínar eigin reglugerðir um notkun á enduruninni steypu. Mögulegar ástæður þess eru gjöld sem lögð hafa verið á losun byggingarúrgangs, námugjöld steinefna og skortur á fylliefnum. Nauðsynlegt er að fylgja þessari þróun og að íslenskar reglugerðir, aðlagðar íslenskum aðstæðum, fylgi henni. Fyrir fáeinum árum var Noregur í svipuðum sporum og Ísland, en rannsóknir undanfarinna ára hafa leitt til þess að iðnaðurinn hefur nú sett sér metnaðarfulla framkvæmdaáætlun (Nasjonal handlingsplan for Bygg- og Anleggsavfall, ([www.byggemiljo.no](http://www.byggemiljo.no), 2017)). Áætlunin gerir ráð fyrir að að öll skaðleg efni tengd byggingarúrgangi séu meðhöndluð á öruggan hátt, byggingarúrgangi sé ekki fargað á ólöglegan hátt og að einungis 30% af úrganginum fari á tipp (jarðvegslosunarstaði) svo dæmi séu tekin.

Töluverðan mun er að sjá á magni úrgangs sem fellur til á milli landa Evrópusambandsins. Talið er að munurinn geti stafað af mismunandi byggingaraðferðum og jarðmyndunum. Í erlendum ritum er oft talað um „*construction and demolition waste (C&D waste)*“ eða „mannvirkja og niðurrifs úrgang“, og fellur úrgangur eins og t.d. steypa, múrsteinar, gips, tréverk, gler, málmar, plast, asbest og uppmokstur undir þennan flokk. Síðustu ár hefur umfjöllunin um endurvinnslu og endurnýtingu úrgangs í Evrópu orðið sífellt meiri. Í júní 2008 samþykktu Evrópuþingið og Evrópuráðið nýja reglugerð sem er hluti af „*EU Waste Framework Directive (2008/98/EC)*“, þar sem áherslan er á bæði almennt sorp og C&D úrgang. Þar kemur meðal annars fram að árið 2020 er gert ráð fyrir að hlutfall endurunnsins eða endurnýttts C&D úrgangs ætti að vera komið upp í 70% af heildarþyngd (Fischer og Werge, 2009). Til samanburðar er í dag kveðið á um í Byggingarreglugerð nr. 112/2012 að 60% af byggingar- og niðurrifsúrgangi sé flokkaður með þeim hætti að hann sé hæfur til endurnýtingar áður en honum er

skilað á viðurkenndan móttökustað. Þessar kröfur eru að aukast og á hlutfallið að vera komið upp í 70% árið 2020.

## 2.1 Evrópusambandið

Í Evrópustöðlunum (CEN) er einungis litið til eiginleika efna en ekki uppruna þeirra og þannig opnað fyrir þann möguleika að nýta endurunnin efni samhliða nýju hráefni (EN 13242:2002+A1:2007). Fyrsta setningin í staðlinum *EN 13242:2002+A1:2007* er sú að það séu eiginleikar steinefnis sem skipti máli en ekki hvort það komi úr námu, sé framleitt eða endurrunnið, fyrir bæði bundin og óbundin efni í almenn byggingarverkfræðileg verkefni og vegagerð. 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 hátt hlutfall endurrunnið steinefnið er. Brotin steypa hefur verið skilgreind sem efni til vegagerðar af Vegagerðum allra Norðurlandanna, fyrir utan Ísland, en notkunin er m.a. skilgreind í eftirfarandi leiðbeiningarritum og handbókum:

- Bruk av knust betong i vegbygging, Varige vejer 2011-2014, Statens vegvesens rapporter nr. 262
- Håndbok N200
- Allman teknisk beskrivning, Krossad betong i vagkonstruktioner, Publikation 2004:11
- Vejoverbygning, Ubundne bærelag af knust beton og tegl, almindelig arbejdsbeskrivelse (AAB).

Í CEN stöðlunum EN 13242:2002+A1:2007 og EN 13285:2010 eru gerðar „hefðbundnar“ kröfur til steinefna s.s. kornadreifingar, kornalögunar, magns fínafna, styrks (LA-stuðull), mótstöðu gegn högg- og núningsálagi, kleyfni, rúmpýngd og vatnsdrægni svo eitthvað sé nefnt. Einnig er tekið fram að í sumum tilfellum þarf að kanna endingu steinefna, t.a.m. mótstöðu við frost/þíðu sveiflum. Auk þessa verður að tryggja að ekki séu skaðleg efni til staðar í steypunni og þess vegna er efnagreiningar krafist í sumum tilfellum.

Ýmis rit hafa verið skrifuð þar sem fjallað er um evrópska staðla og reglugerðir. Pihl o.fl. (2004) settu fram kröfur til brotinnar steypu nýtt í burðarlög vega í skýrslunni „*Ubundne bærelag af knust beton, efter europæiske standarder*“ eða óbundin burðarlög úr brotinni steypu, eftir evrópskum stöðlum. Í skýrslunni er brotinni steypu (KB) skipt upp í 3 flokka: A, B og C, eins og sýnt er í töflu 1 þar sem efniseiginleikar hvers flokks koma fram.

Í staðlinum ÍST EN 13242 2002+A1:2007 er að finna töflur sem nota má sem leiðarvísi til að meta gæði efnisins og svo framkvæmdin gangi sem best (tafla 2). Efninu er skipt upp í fjóra flokka: KB (knust beton), eða brotin steypa, og svo KBT I, II og III (knust beton og tegl), þar sem brotinni steypu og múrsteinum er blandað saman. Mismunandi skilyrði eru gerð til kornadreifingar og hreinleika fyrir mismunandi flokka. Fyrir KB efni má sýni af stærðinni 11,2/16 mm hafa hæst LA gildi 40 þ.e.a.s. LA<sub>40</sub> en í töflu 1 koma einnig fram kröfur til efnasamsetningar og hreinleika efnisins könnuðu á 4/63 mm efni.

Tafla 2 sýnir kröfur sem gerðar eru til efnasamsetningar brotinnar steypu og múrsteina, þar sem innihaldinu er skipt upp í áður nefnda fjóra flokka. Í töflu 3 má sjá samspil umferðarflokkunar og efnisvals fyrir sömu flokka þar sem ÁDU<sub>p</sub> er árdagsumferð þungra ökutækja. Mælt er með því að nota brotna steypu í óbundin burðarlög, en þó verður að varast að því hærra hlutfall múrsteina sem eru í efninu þeim mun meiri hætta er á niðurbroti efnisins á umferðamiklum vegum.



**TAFLA 1** Efniseiginleikar fyrir flokka A, B og C brotinnar steypu í burðarlög vega og í hvaða umferðarflokka má nota mismunandi flokka (samsett tafla frá ÍST EN 13242 2002+A1:2007.

	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 %

**TAFLA 2** Kröfur sem gerðar til efnasamsetningar brotinnar steypu og múrsteina (samsett tafla frá ÍST EN 13242 2002+A1:2007.

SKAMMSTÖFUN	FLOKKUR INNHALDSEFNI	INNIHALD			
		KB	KBT I	KBT II	KBT III
R <sub>C</sub> + R <sub>U</sub> + R <sub>B</sub>	BROTIN STEYPA, MÚR, ÖNNUR ÓBUNDIN OG BUNDIN STEINEFNI, MÚRSTEINAR, FLÍSAR, POSTULÍN, KALKSTEINN OG LÉTTSTEYPA	-	-	-	≥ 90%
R <sub>C</sub> + R <sub>U</sub>	BROTIN STEYPA, MÚR OG ÖNNUR ÓBUNDIN OG BUNDIN STEINEFNI	≥ 90%	≥ 80%	≥ 50%	-
R <sub>B</sub>	MÚRSTEINAR, FLÍSAR, POSTULÍN, KALKSTEINN OG LÉTTSTEYPA	≤ 10%	≤ 20%	≤ 50%	-
R <sub>A</sub>	MALBIK	≤ 1%	≤ 2%	≤ 2%	≤ 5%
R <sub>G</sub>	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

**TAFLA 3** Samspil milli umferðarflokkunnar og efnisvals (samsett tafla frá ÍST EN 13242 2002+A1:2007.

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

## 2.2 Samanburðarlönd

### 2.2.1 Danmörk

Í Danmörku hefur danska Vegagerðin (Vejdirektoratet) gefið út leiðbeinandi rit við gerð útboðsganga þar sem notað er brotin steypa og múrsteinar til vegagerðar (Vejdirektoratet, 2011). Leiðbeiningarritið er notað til þess að tryggja að gæði efnisins og framkvæmdarinnar verði eins og best verði á kosið. Efninu er skipt upp í fjóra flokka eins og fjallað var um hér að ofan (tafla 2). Mismunandi skilyrði eru gerð til kornadreifingar, hreinleika og styrks fyrir mismunandi flokka eins og gert er í stöðlum evrópska staðlaráðsins. 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 1).

Kornadreifingu efnanna má sjá í töflu 4 og brothlutfallið (*i*) í töflu 5. Kornadreifing KGT III er valin þannig að allt umframefni brotinnar steypu og múrsteina sem markaðurinn framleiðir falli innan flokksins.

**TAFLA 4** 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 5** 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

Ef skoðuð er kornadreifing út frá flokkunum í töflu 1 má sjá að kornadreifing fyrir flokk A og B er sú sama og sýnd eru í töflu 4 en lægri kröfur eru gerðar til efnis í flokki C, sbr. töflu 6. Þegar litið er til hreinleika skal efnasamsetning vera innan marka sem gefin eru í töflu 2.

**TAFLA 6** 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

Rannsóknir sem danska Vegagerðin hefur gert sýna að LA-gildi brotinnar steypu sé á milli 28-42% á meðan hefðbundið steinefni sem er notað í Danmörku 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. Micro-Deval aðferðin er notuð til þess að kanna mótstöðu steinefna við niðurbroti. Hins vegar hafa þeir ekki nægjanlegar mælingar á Micro-Deval til þess að setja sértæk skilyrði á gildið. 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.

### 2.2.2 Noregur

Í handbókum norsku Vegagerðarinnar er mælt til að endurvinnna og/eða endurnýta efni. Í handbók N200 (Statens vegvesen, 2014) segir meðal annars „endurvinnslu 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 unnið að því 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 gæðum steypunnar sem verið er að endurvinnna. Mælt er með notkun til dæmis á framkvæmdasvæðum (no. anleggsveger og riggområde), í vegagerð sem styrktar- og burðarlög, í lokuðum lagnaskurðum og í fyllingar og hljóðmanir (Statens vegvesen, 2013).

Dæmi um verkefni í Noregi þar sem endurunnin steypa hefur verið notuð við góða raun má t.d. nefna:

- *Linderud-Kalbakken* – endurunnin steypa nýtt í nýbyggingar og breikkanir göngu- og hjólastíga árið 2001 (Statens vegvesen, 2013).
- *St. Olavs sjúkrahúsið í Prándheimi* – ein af kröfum verkefnisins var að endurnýta skyldi allt rifið efni eins og hægt væri. Steypa sem féll til var notuð í styrktar- og burðarlag fyrir bílastæði sjúkrahússins. St. Olavs verkefnið hófst árið 1999 og því átti að ljúka 2012.
- *E6 Melhus* – ákveðið var að byggja E6 veginn í Melhus með brotinni steypu en framkvæmdin stóð yfir á árunum 2002-2005. Á tveimur 80 metra löngum köflum var endurunnin steypa notuð en þess á milli var notast við hefðbundið burðar- og styrktarlagsefni. Niðurstöðurnar sýndu að þar sem notuð var brotin steypa í veginn, var vegurinn sterkari heldur en þar sem hefðbundin steinefni voru notuð (Statens vegvesen, 2006).

Í Handbók N200 (Statens vegvesen, 2014) er fjallað um þær kröfur sem eru gerðar til efnis sem notað er í yfirbyggingu vega, *Gjb I* (brotin steypa) og *Gjb II* (blandað efni 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.

Efniskröfur sem gerðar eru til endurunnar steypu eru tíundaðar í handbók N200 (Statens vegvesen, 2014), en þar er tiltekið að efnið skuli 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 niðurbroti, en steinefnakröfurnar eru tíundaðar í töflu 7.

**TAFLA 7** Kröfur til útlagðrar, óbundinnar brotinnar steypu í styrktarlag (samsett tafla frá EN 13242:2002+A1:2007).

KRÖFUR TIL MEKANÍSKRA EIGINLEIKA OG KORNADREIFINGAR	GÆÐAKRÖFUR			FRÁVIK	TÍÐNI PRÓFANNA LÁGMARK 1 PRÓF FYRIR HVERJA EINGINGU 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 (BROTIN STEYPA) Í GÖNGU OG HJÓLASTÍGA</b>					
LA-GILDI	≤ 40	LA <sub>40</sub>			1500 m <sup>3</sup>
KLEFNIÐULL (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 BLANDAÐUR 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 %	
BROTNIR 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 ANNAÐ (X)			≤ 1 %	≤ 2 %	
FLJÓTANDI AGNIR			≤ 5 cm <sup>3</sup> /kg	≤ 5 cm <sup>3</sup> /kg	
EDLISMASSI					
OFNÞURRKUN			> 2000 kg/m <sup>3</sup>	> 1500 kg/m <sup>3</sup>	
VATNSMETTAÐ OFNÞURRKUN			> 2100 kg/m <sup>3</sup>	> 1800 kg/m <sup>3</sup>	
VATNSUPPTAKA			< 10 %	< 20 %	

### 2.2.3 Svíþjóð

Í Svíþjóð hefur brotin steypa verið nýtt í vegagerð um áraraðir í stað náttúrulegra steinefna við góðan orðstýr. Magn endurunnninnar brotinnar steypu árið 2001 var um 1-1,5 milljón tonn á ári (Ydrevik & Arm, 2001). Árið 2017 stóð hlutfall efnis sem er endurrunnið í um 50-60% af heildar efnismagni sem fellur til við niðurrif mannvirkja.

Árið 2004 gaf sænska Vegagerðin (Vägverket) út handbókina „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 vegagerð. Gerðar voru mælingar úti í mörkinni og á rannsóknarstofu en niðurstöður sem fengust þar sköpuðu grunn fyrir fyrrnefnda handbók um notkun brotinnar steypu í vegagerð.

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, aldri og getu hennar til að bindast. Hreinleiki steypunnar hefur þó einnig áhrif þar sem best er að hún samanstandi einungis af sementsefju og steinefni. Þær kröfur sem svíar gera til brotinnar steypu eru sýndar í töflu 8, en flokkunin byggist á hreinleika og styrk (Vägverket, 2004). 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 er léttari en 3,5 tonn má efnið hafa Micro-Deval gildi allt að 35. Einnig er skilgreind kornadreifing sem skal uppfylla, sbr. töflu 9. Steypuna má líka nota í millilög, undirbyggingu og í fyllingar.

**TAFLA 8** Gæðaflokkar brotinnar steypu samkvæmt sænsku Vegagerðinni (Vägverket, 2004).

GÆÐA-FLOKKUR	STEYPUFLOKKUR				HREINLEIKI			
	EITT AF NEÐANGREINDUM GILDUM SKAL FULLNÆGT							
BROTIN STEYPA	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*** [%]
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. Sú fyrri er að brotin steypa getur verið næm fyrir upptöku salts og efnið getur verið viðkvæmt fyrir háum spennum sem getur aukið líkur á sprungum. Seinni ástæðan er sú að burðarlag vega er brotið fínna og þá þarf að vinna steypuna meira og þá fellur til meira af finefnum 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 háu vatnsyfirboði s.s. við ræsi. Hins vegar er frostmótstaða efnisins góð við „náttúrulega“ rök skilyrði (Ydrevik & Arm, 2001).

**TAFLA 9** Kornadreifing brotinnar steypu í burðarlag göngu- og hjólastíga og styrktarlög vega (Vägverket, 2004).

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	-	-	-

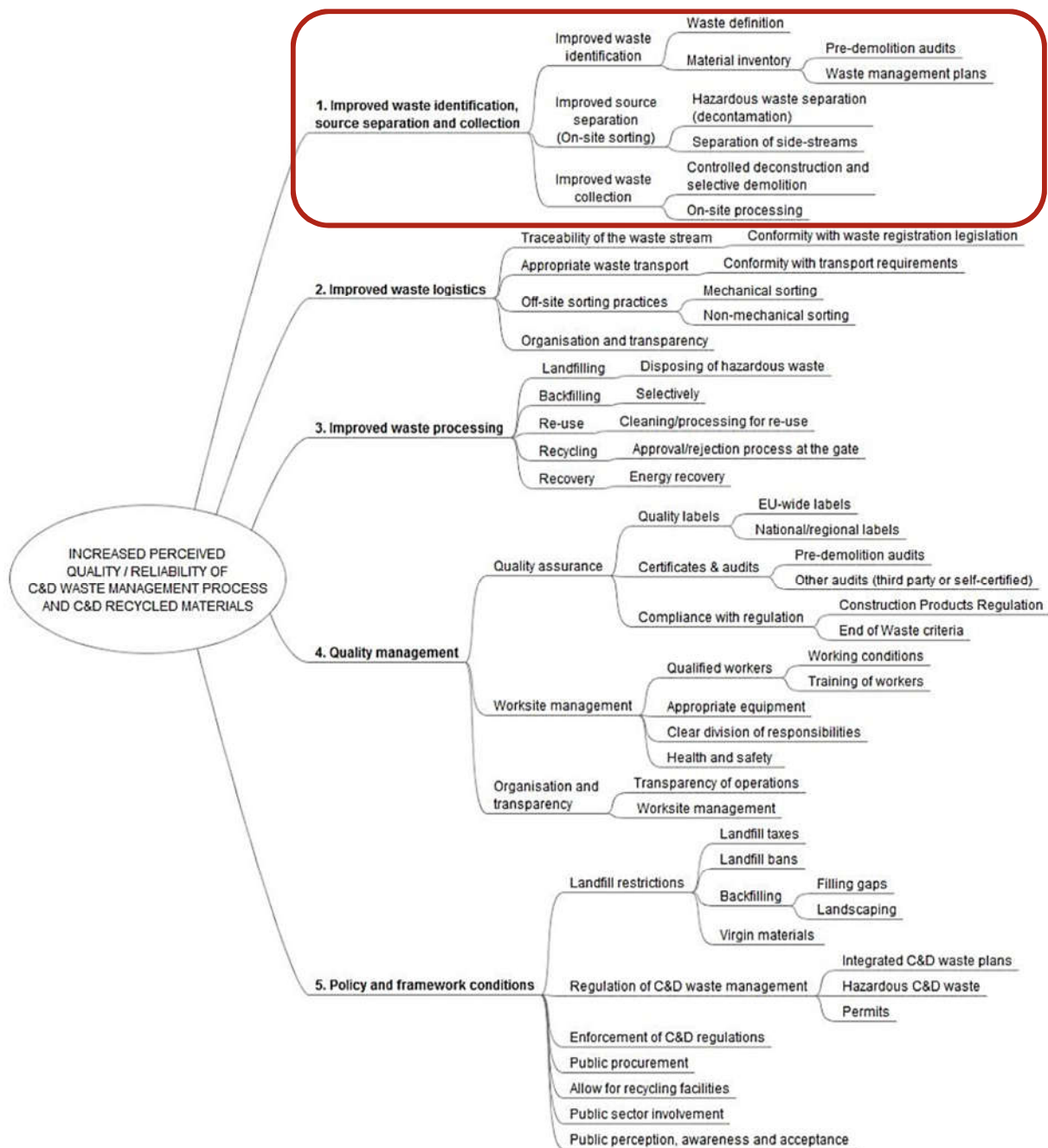
### 3 VINNSLA ENDURUNNINNAR STEYPU

Í ritinu *EU Construction & Demolition Waste Management Protocol* (C&D úrgangsstjórnun) (2016), gefnu út af evrópska staðlaráðinu, er að finna leiðbeiningar um hvernig standa eigi að endurvinnslu steypu, þ.e. auðkenning úrgangs, aðskilnaður efna með sama uppruna, og söfnun. Frá upphafi verkefnisins þarf að skilgreina á skýran og ótvíræðan hátt hvernig flokka skuli úrganginn við niðurrif. Mikilvægur hluti flokkunarinnar er að aðskilja hættulegan og/eða mengandi úrgang, t.d. efni sem hamla endurvinnslu. Þetta tryggir öryggi starfsmanna og eykur bæði magn og gæði þess efnis sem hægt er að endurnýta. Á mynd 1 má sjá skipurit sem sýnir hvernig standa skuli að C&D úrgangsstjórnun á skilvirkan hátt. Sá hluti úrgangsstjórnunarinnar sem tekinn er fyrir í þessari skýrslu er afmarkaður með rauðu boxi.

Í skýrslu FHWA (Federal Highway Administration, USA), í kaflanum „*Reclaimed concrete material*“ (RCM) er farið yfir hina ýmsu verkferla í kringum endurvinnslu steypu. Þar er fjallað um hvernig RCM sé fengið með niðurrifi Portland sement steypu (e. Portland cement concrete), frá vegum, byggingum og hversskonar mannvirkjum. Líkt og áður hefur verið nefnt er oft að finna óhreinindi í steypunni, í formi t.d. steypustyrktarjárns, plasts, timburs og jarðvegs. Steypan er annaðhvort endurunnin á staðnum eða er flutt í sérstakar endurvinnslustöðar þar sem hún er brotin í vinnanlega stærð, efnið rannsakað og steypustyrktarjárn eru fjarlægð með seglum. Erfiðara hefur hins vegar reynt að fjarlægja vírnet á skilvirkan hátt. Til að koma í veg fyrir aðgreiningu á kornastærðum eru grófu efnin og fínefnin geymd í tveimur aðskildum haugum.

Annað sem hefur áhrif á gæði steypunnar sjálfar eru mismunandi gæði fylliefna, fylliefnastærð, brotstyrkur steypunnar og einsleitni. Forsteyptar einingar (e. pre-cast concrete) innihalda oftast smærri fylliefni, hafa hærri brotstyrk og minni breytileika í styrk og öðrum eiginleikum en staðsteyptar einingar (e. cast-in-place concrete). Fylliefni sem hafa aldrei orðið fyrir veðrun geta innihaldið hærra magn af skaðlegum efnum sem ekki hafa náð að skolast út. Eins má stundum sjá veikleika í steypu vegna alkalívirgni sem kemur til vegna Ca-Al-Si efnasambanda. Al-Si efnahvörf (e. alkali-silica reactions) geta valdið þenslu og sprungumyndun í steypunni. Þar sem steypa hefur komist í tæri við salt, ýmist vegna nálægðar við sjó, söltun gatna eða vegna saltmagns í fylliefnunum sem notuð voru í steypuna, getur fundist klóríð í steypunni í þó nokkru magni. Eins getur súlfat hafa komist í steypuna með

súlfatríkum jarðvegi. Klóríð getur valdið tæringu málma á meðan súlföt valda niðurbroti á sementsefju (e. mortar).



**MYND 1** C&D úrgangsstjórnun. Rauða boxið afmarkar þann hluta C&D úrgangsstjórnunar sem á við í þessu verkefni (breytt mynd frá *EU Construction & Demolition Waste Management Protocol*, 2016).

Þá getur sýrustig vatns (pH) blönduðu með steypumulningi, orðið mjög hátt vegna mikils magns af kalki. Ef raki er til staðar getur hátt pH gildi valdið tæringu á áli eða galvaníseruðum stáli, sem oft er notað með steypunni (FWHA, 1998, 2016). Sýrustig vatns í þórum steypunnar getur haft áhrif á vetnistengi efnasambanda og þar með áhrif á togstyrk steypunnar. Ef klóríð innihald og/eða kolmónoxíð innihald steypu eykst, lækkar pH gildið. Lágt pH gildi eykur togkraftinn milli jákvætt hlaðinna agna sementsefjunnar og neikvætt hlaðins yfirborðs þeirra steinefna í steypunni. Þetta getur



valdið því að efnasambönd í vatninu hlaupi í kekki (e. flocculate) á yfirborði steinefnanna (The ROAD EX Network, 2019).

Unnin steypa eða steypumulningur, sem er þá 100% niðurbrotin, er köntuð og hrjúf. Vegna samloðunar sementsefjunnar við fylliefnin hefur steypumulningur lægri eðlisþyngd og meiri vatnsdrægni en „hrein“ fylliefni af sömu stærð. Þegar kornastærð steypumulnings minnkar, lækkar eðlisþyngdin í samræmi við það og vatnsdrægnin eykst, vegna hærra hlutfalls sementsefju sem loðir við fylliefnin. Hærri vatnsdrægni er sérstaklega áberandi í niðurbrotinu fínefni og í loftríkri sementsefju. Steypumulningur hefur oftast hærra póruhlutfall og meiri lekt en t.d. náttúrulegur sandur og mól. Vegna hærra póruhlutfalls endurunninnar steypu og hærri vatnsdrægni, er líklegt að prófa þurfi frostnæmi efnisins fyrir hvert verkefni fyrir sig (FWHA, 1998, 2016).

Tryggja þarf að endurvinnsla og nýting efna í mannvirkjagerð sé ekki á kostnað efnisgæða þannig að viðhald aukist í staðinn. Miklir möguleikar eru í endurvinnslu og það yrði endurvinnsluiðnaðinum til framdráttar ef aðilar sameinuðust um að safna og flokka úrgang nálægt þeim stöðum þar sem úrgangurinn verður til. Einnig þarf að horfa til þess hversu stóran þátt birgjar í byggingariðnaði eiga í því að koma flokkun byggingarúrgangs í viðunandi horf. Það sem einna helst hefur hamlað aukinni endurnýtingu byggingarúrgangs er að ekki hefur legið fyrir mat á arðsemi slíks og einnig hefur skort reglur og kröfur sem lúta að vinnslu og efniseiginleikum. Oft er ekki hægt að réttlæta aukna endurvinnslu nema sýna megi fram á arðsemi. Einnig verður að tryggja að bæði sé nægt framboð af efni og að gæði þess sé sem skyldi (Phillips, 2001).

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 endurunnu brotnu steypuna s.s. timbur, einangrun, jarðefni og plast (Slaughter, 2006).

## 4 UMHVERFISLEGUR ÁVINNINGUR

Ísland stefnir ásamt Evrópusambandsinu (ESB) á 40% minni heildar losun gróðurhúsalofttegunda fyrir árið 2030 samborið við árið 1990 (UNFCCC, 2016). Þar að auki hefur núverandi ríkisstjórn sett fram það markmið að Ísland verði orðið kolefnishlutlaust árið 2040 (Umhverfis- og auðlindaráðuneytið, 2018; Stjórnarráð Íslands, 2017). 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 *hvatthlýunarmáttur* (e. Global Warming Potential, GWP) vegna losunar gróðurhúsalofttegunda yfir allan vistferil mannvirkisins. *Vistferill* (e. Life Cycle) er í þessu tilfalli ferill mannvirkis frá vöggju til grafar, þ.e. hann nær frá öflun hráefna og framleiðslu byggingarefna, byggingu og rekstri yfir allan líftíma mannvirkis allt til niðurrifs, förgunar og endurvinnslu 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.



MYND 2 Vistferill mannvirkis.

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.

#### 4.1 Kolefnisspor endurvinnslu steypu borið saman við kolefnisspor nýs efnis

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 vist- 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).

##### 4.1.1 Markmið og umfang samanburðar

Í þessu verkefni er til skoðunar endurvinnsla steypu sem fellur til við niðurrif bygginga og notkun hennar í vegagerð. Hér er fyrsta athugun þar sem kannað er hvort umhverfislegur ávinningur sé af því að brjóta steypu frá niðurrifi bygginga og nota hana í vegagerð í staðinn fyrir steinefni úr námu. Ekki er um að ræða fulla vistferilsgreiningu en samanburðurinn byggir þó á vistferilshugsun. Þessi greining er sambærileg fyrri rannsókn EFLU þar sem skoðað var kolefnisspor af endurvinnslu umframsteypu sem fellur til á steypustöðvum (EFLA, 2018).

Kerfismörk samanburðarins eru sýnd á mynd 3 en þar eru fjórar eftirfarandi sviðsmyndir.

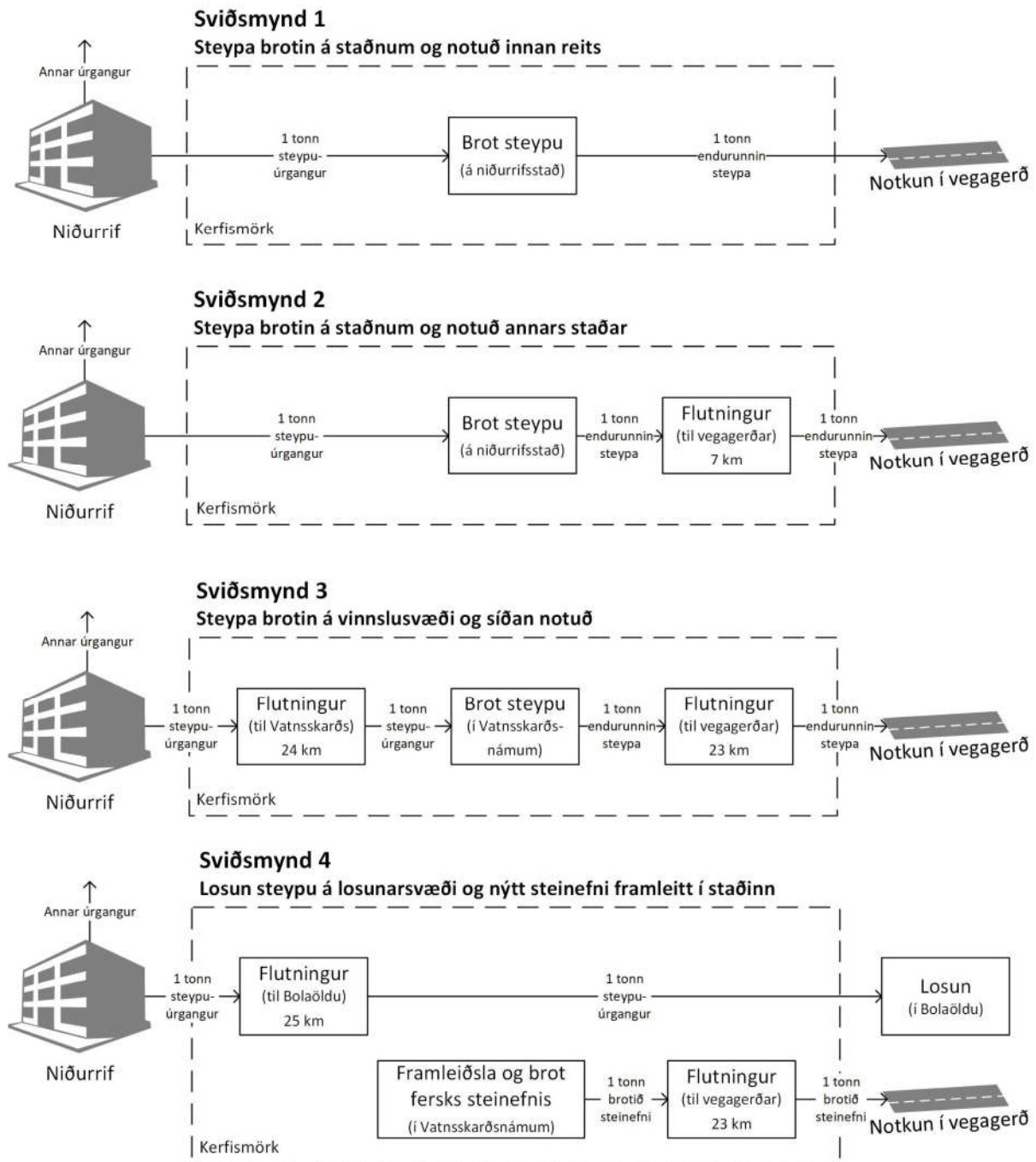
1. **Steypa brotin á staðnum og notuð innan reits:** Steypa er brotin á niðurrifssvæði við Lækjargötu og notuð innan byggingarreits eða á nálægðum stöðum.
2. **Steypa brotin á staðnum og notuð annars staðar:** Steypa er brotin á niðurrifssvæði við Lækjargötu og flutt í Vogabyggð í Reykjavík til notkunar í vegagerð.
3. **Steypa brotin á vinnslusvæði og síðan notuð:** Steypa er flutt frá Lækjargötu í Vatnsskarðsnámur þar sem hún er brotin og síðan flutt í Vogabyggð til notkunar í vegagerð.
4. **Losun steypu á losunarsvæði en nýtt steinefni framleitt í staðinn:** Steypa er flutt frá Lækjargötu til losunar á losunarsvæði/tipp í Bolaöldu. Í þeirri sviðsmynd þarf að framleiða nýtt steinefni úr námu til notkunar í vegagerð sem endurunna steypan væri annars notuð í.

Í þessum fjórum sviðsmyndunum er gengið út frá því að niðurrifssvæði sé við Lækjargötu í Reykjavík og vegagerð fari fram við Súðavog á uppbyggingarsvæðinu Vogabyggð. Gengið er út frá því að vinnslusvæði steypu sé í Vatnsskarðsnámum og jarðvegslosunarsvæði verði í Bolaöldum. Reiknað er með því að nýtt steinefni sé sótt í Vatnsskarðsnámur, þ.e.a.s. á sama stað og vinnslusvæðið.

Gengið er út frá því að framleiðsla steypunnar og reising byggingarinnar liggi utan kerfismarka.

Fyrir allar sviðsmyndir er notkunin á efninu í vegagerð látin falla utan við kerfismörk, enda ætti hún að vera nokkuð svipuð fyrir endurunna steypu og steinefni úr námu. Þó gæti verið að mismunandi magn af efni þurfi eftir því hvort steypa eða nýtt efni er notað vegna breytts styrkleika og því gætu þykktir laga í uppbyggingu vegarins. Taka þyrfti tillit til þessa ef farið verður í fulla vistferilsgreiningu fyrir

endurvinnsla steypu í burðarlög vega. Til einföldunar er í þessum samanburði reiknað með að sama magn af endurunninni steypu og steinefni úr námu þurfi í veginn.



**MYND 3** Kerfismörk samanburðar á kolefnisspori fyrir fjórar sviðsmyndir. Í þremur fyrstu sviðsmyndunum er steypa endurunnin og notuð í vegagerð en í fjórðu sviðsmyndinni er steypa losuð í Bolaöldu og þá þarf að framleiða nýtt steinefni í staðinn. Kerfismörk eru sýnd með punktalínu.

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 efni í vegagerð.

Einnig kæmi til greina að byggja aðgerðareininguna á styrk eða öðrum eiginleikum ólíkra steinefna en þá þyrfti að skoða það nánar í fullri vistferilsgreiningu.

Hugbúnaðurinn GaBi var notaður til að stilla upp samanburðinum en þessi búnaður er sérsniðinn fyrir vistferilsgreiningar (Thinkstep, 2019). Notaðar voru upplýsingar um umhverfisáhrif ferla úr Ecoinvent gagnagrunninum (Ecoinvent, 2019) sem byggir að miklu leyti á svissneskum aðstæðum.

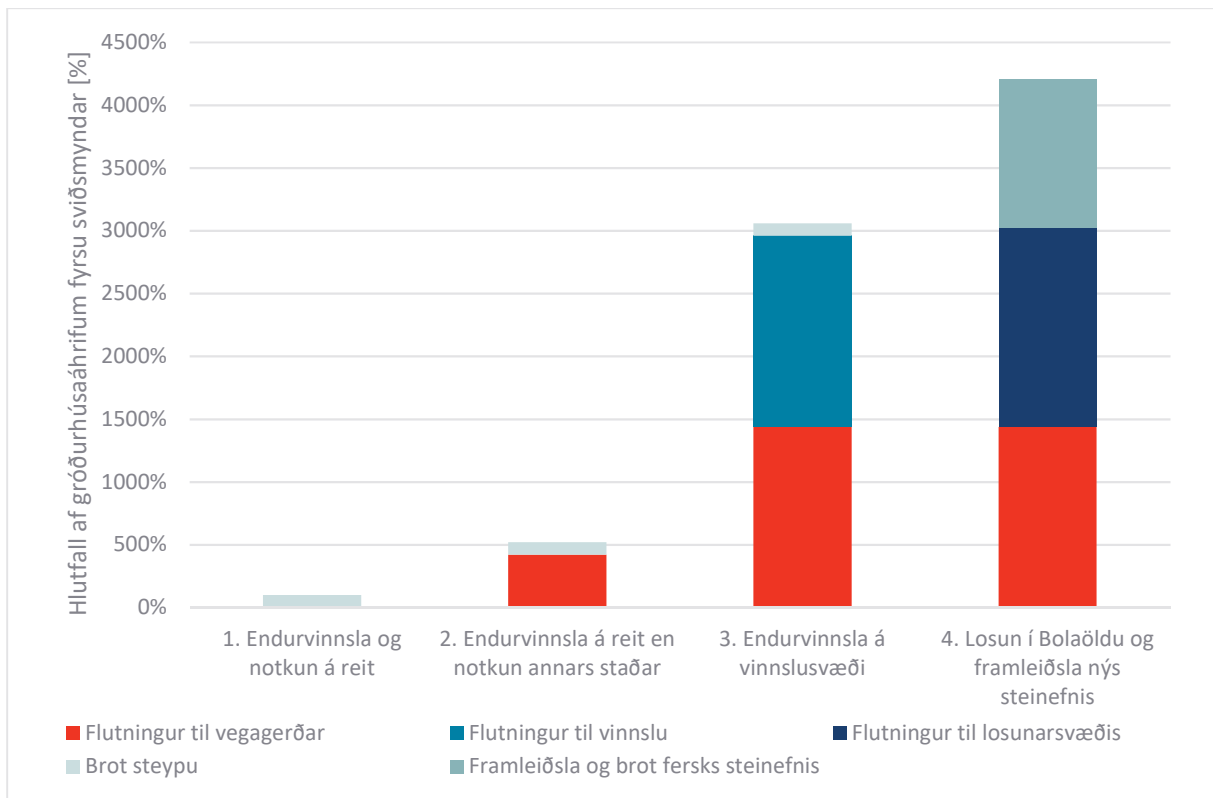
Framleiðsla steypu losar mikinn koltvísýring ( $\text{CO}_2$ ), meðal annars vegna efnahvarfa í framleiðslu sements. Það efnahvarf gengur síðan smátt og smátt til baka þegar steypa eldist sem gerir það að verkum að steypa bindur  $\text{CO}_2$  úr andrúmsloftinu þegar hún eldist. Með því að brjóta steypuna 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.

#### 4.1.2 Niðurstöður samanburðar

Á mynd 4 eru niðurstöður samanburðar á kolefnisspori fyrir sviðsmyndirnar fjórar sem var lýst hér á undan á mynd 3. Í þremur fyrstu sviðsmyndunum er steypa endurninn og notuð í vegagerð en í fjórðu sviðsmyndinni er steypa losuð í Bolaöldu og þá þarf að framleiða nýtt steinefni í staðinn.

Sviðsmynd 1: Langminnsta kolefnissporið er af því að brjóta steypu á niðurrifsstað og nýta hana innan sama byggingarreits eða í grenndinni. Sviðsmynd 2: Ef flytja þarf steypuna á annan verkstað innan höfuðborgarsvæðisins þá er kolefnissporið líka lágt. Sviðsmynd 3: Meira kolefnisspor er af því að flytja steypuna alla leið til vinnslusvæðis í Vatnsskarði því þá er verið að flytja steypuna lengri vegalengdir. Sviðsmynd 4: Mest kolefnisspor er þó af því að losun (urðun) steypu í Bolaöldu og notkun nýs steinefnis í vegagerð í staðinn. Það er bæði vegna mikilla flutninga og vegna framleiðslu steinefnis með tilheyrandi losun gróðurhúsalofttegunda. Sú losun er fólgin í orkunotkun við vélavinnu, flutninga á efnistökusvæði og uppbyggingu innviða fyrir efnisvinnslu.

Af þessu má draga þá ályktun að í samanburði við núverandi ástand þá sé það umhverfislega hagkvæmara að endurvinnna steypu í vegagerð. Allra best er að nýta steypuna í grenndinni til að lágmarka flutninga, sviðsmynd 1. Þessi samanburður er einföld könnun á umhverfislegum ávinningi af endurvinnslu steypu frá niðurrifi mannvirkja 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.



**MYND 4** Samanburður á kolefnisspori fjögurra sviðsmynda. Í þremur fyrstu sviðsmyndunum er steypa endurunin og notuð í vegagerð en í fjórðu sviðsmyndinni er steypan losuð í Bolaöldu og þá þarf að framleiða nýtt steinefni í staðinn.

## 5 EFNISKRÖFUR TIL ÓBUNDINNA VEGAGERÐAREFNA Á ÍSLANDI

Í þessu rannsóknarverkefni var tekið steypusýni úr gamla lðnaðarbankanum við Lækjargötu 12. Markmiðið var að athuga hvort efnið uppfylli kröfur Vegagerðarinnar til notkunar í burðar- og styrktarlög vega. Efnið var prófað á rannsóknarstofu EFLU, en niðurstöður prófana má sjá í kafla 6.

Hér að neðan eru listaðir þeir eiginleikar sem Vegagerðin hefur skilgreint fyrir mismunandi ársdagsumferð þungra ökutækja ( $\text{ÁDU}_p$ ) (Vegagerðin, 2019). Um er að ræða kornadreifingu, kornalögun, styrkleikapróf, berggreiningu, brothlutfall, húmus/þjálmi og frostþolspróf (Vegagerðin, 2019).

Þegar verið er að skoða burðar- og styrktarlagsefni eru tvenns konar kröfur gerðar í berggreiningu um leyfilegt magn 3. flokks efnis: mjög ummyndað efni og ferskt efni. Þetta er gert þar sem ummynduð bergbrigði eru talin mun óæskilegri fyrir burðar- og styrktarlög 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. Þó skal tekið fram að ef ferskt efni brotnar mikið niður, þá er það sett í 3. flokk. Til einföldunar er kröfum um ummynduð bergbrigði sleppt í umfjölluninni þar sem það efni yrði ekki notað til steypugerðar.

### 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.

### Kornalögun

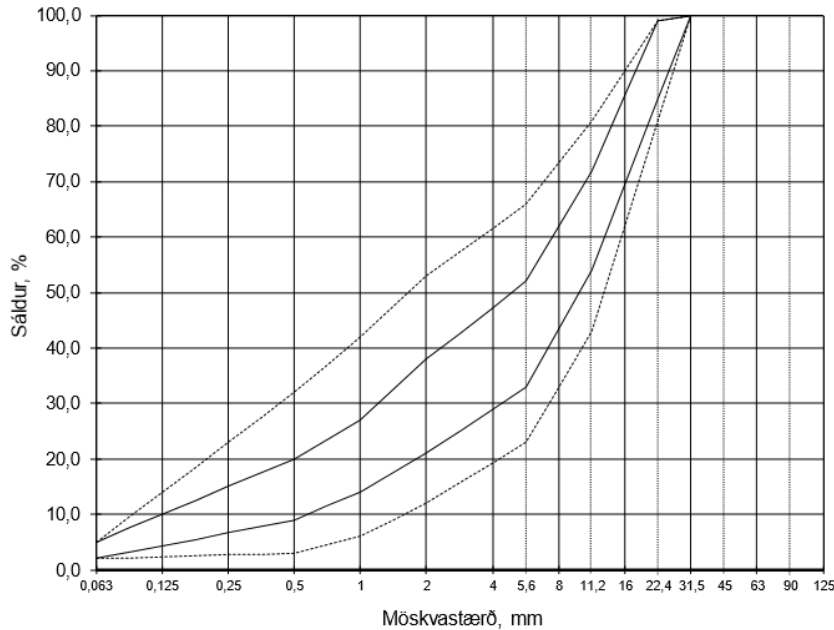
Prófið er framkvæmt skv. staðli ÍST EN 933-3, sem gerir ráð fyrir að lögun sé mæld á stærðarflokkum frá 4/80 mm. Hérlandis hefur þó oft verið miðað við að mæla á 4/31,5 mm sýnum, þrátt fyrir að stundum sé um grófara efni að ræða. Kleyfnistuðullinn (flakiness index), FIX, má að hámarki vera X %. Sjá töflu 10 fyrir kröfur til kornalögunar steinefna í burðarlög vega (Vegagerðin, 2019).

Malað berg

Stærðarflokkur: 0/22

ÍST\_EN 13285, markalínur

Kröfuflokkur: G<sub>P</sub> OC<sub>85</sub> LF<sub>2</sub> UF<sub>5</sub>



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

	Sigti	Ytri mörk		Innri mörk	
	0,063	2	5	2	5
	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
	4	19	62	29	47
B	5,6	23	66	33	52
	8	33	74	44	62
A	11,2	43	81	54	72
	16	62	90	70	86
	22,4	81	99	85	99
	31,5	100	100	100	100
	45				
	63				
	90				
	125				

**MYND 5** Markalínur fyrir malað 22 mm berg í burðarlag (Vegagerðin, 2019).

**TAFLA 10** Kröfur til kornalögunar steinefna í burðarlög (Vegagerðin, 2019).

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>

\* FI<sub>25</sub> og FI<sub>30</sub> eru nýir kröfuflokkar í endurskoðun framleiðslustaðals ÍST EN 13242

### Styrkleikapróf/ LA-próf

Styrkleikapróf eru framkvæmd skv. staðli ÍST EN 1097-2, á 10-14 mm steinefni. Kröfurnar sem gerðar eru fyrir burðar- og styrktarlög koma fram í töflu 11. Í þessu verkefni er LA-próf valið þar sem notast er við það próf í evrópustaðlinum.

**TAFLA 11** Kröfur fyrir styrkleika steinefna í burðarlög (Vegagerðin, 2019).

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



## Berggreining

Í töflu 12 má sjá leiðbeinandi kröfur Vegagerðarinnar um leyfilegt magn steinefna í 3. gæðaflokki fyrir burðar- og styrktarlagsefni. Kröfurnar sem settar eru fram miða við greiningu á 5,6-11,2 mm steinefni.

**TAFLA 12** Leiðbeinandi kröfur um leyfilegt magn steinefna í 3. gæðaflokki (Vegagerðin, 2019).

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

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

## 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 13. Brothlutfallið, CX/Y, merkir að meira (eða jafnt og) X % efnisins skal vera brotið, en minna en (eða jafnt og) 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 prófunar (ÍST EN 13242).

**TAFLA 13** Kröfur sem gerðar eru á brothlutfalli steinefna í burðarlög vega (Vegagerðin, 2019).

FJÖLDI ÞUNGRA ÖKUTÆKJA, ÁDU <sub>p</sub>	MALÆÐ SET, FLOKKUN SKV. ÍST EN 13242	MALÆÐ HARPAÐ GRJÓT, FLOKKUN SKV. ÍST EN 13242
	BROTHLUTFALL, %	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.

## Húmus / þjálmi

Efni sem nota á í burðar- og styrktarlög 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.

## Frostþolspróf

Kröfur sem gerðar eru til frostþols steinefna sem nota á í burðarlög vega eru sýnd í töflu 14, þar sem EC í FEC 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 14** Kröfur fyrir frostþolspróf fyrir steinefni í burðarlög (Vegagerðin, 2019).

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>

### Styrktarlög vega

Miðað við þær forsendur sem gefnar eru í kafla 4 í leiðbeiningarriti Vegagerðarinnar (2019) þá væri hægt að nota umrætt efni í styrktarlög vega. Efnið er í flestum tilfellum á mörkum þess að standast þær kröfur sem gerðar eru til burðarlaga en fyrir styrktarlag þarf að vinna efnið minna og hægt er að nýta það neðar í veginum. Algengt er að sömu kröfur séu gerðar til burðarlagsefna í göngu- og hjólastíga eins og gerðar eru til efna í styrktarlög vega. Í töflu 15 koma fram þær kröfur sem gerðar eru til leyfilegs magns steinefna í 3. gæðaflokki við berggreiningu. Einnig eru sýndar kröfur til styrkleika steinefna í styrktarlög.

**TAFLA 15** Kröfur til styrkleika steinefna í styrktarlög miðað við ÁDU<sub>p</sub>. Einnig má sjá leiðbeinandi kröfur um leyfilegt magn steinefna í 3. gæðaflokki skv. berggreiningu (Vegagerðin, 2019).

FJÖLDI ÞUNGRA ÖKUTÆKJA, ÁDU <sub>p</sub>	HLUTI SÝNIS (%) Í 3. GÆÐAFLOKKI SAMKVÆMT BERGGREININGU*	LA FLOKKUN SKV. ÍST EN 13242 Í 3. GÆÐAFLOKKI SKV. BERGGGR. FERSKT, FÍNBLÖÐRÓTT BASALT
	FERSKT, FÍNBLÖÐRÓTT EFNI, % Í 3.FLOKKI	LA GILDI, %
≥ 400	≤ 25	LA <sub>35</sub>
≥ 100	≤ 30	LA <sub>40</sub>
≥ 10	≤ 35	LA <sub>40</sub>
< 10	≤ 40	LA <sub>50</sub>

Magn fínefna ( $\leq 0,063$  mm) í styrktarlagsefni skal ekki vera yfir 7% af efni 0/63 mm, annars skal stærðargreina fínefni með hydrometer- eða laserprófi.

**TAFLA 16** Algengir stærðarflokkar (d/D) efnis sem unnið er í styrktarlag (Vegagerðin, 2019).

ÓFLOKKAÐ EFNI, MM	FLOKKAÐ EFNI, MM
0/45	
0/63	
0/90	22/90*
0/125	22/125*
0/180	22/180*

## 6 NIÐURSTÖÐUR PRÓFANA

Steypusýnin frá Lækjargötu 12 í Reykjavík voru brotin niður í 0/22 mm kornastærð hjá NMÍ, en það er ekkert sem mælir gegn því að hafa brotið grófara. Sýnið átti upprunalega að brjóta af ÍAV (Íslenskum Aðalverktökum) en vegna smæðar þess var það sent til NMÍ. Efnið var því næst prófað á rannsóknarstofu EFLU til að kanna eiginleika þess til notkunar í burðarlög vega og stíga. Byggingin, sem steypusýnin komu úr, var reist á árunum 1959-63. Á þessum tíma var nóg til af fylliefnum í nágrenni Reykjavíkur og er því gert ráð fyrir að steinefnið sem notast var við í steypunni sé Reykjavíkurgrágrýti. Reykjavíkurgrágrýti er ferskt og miðlungs þétt, smákornt basalt með ólivínkristöllum.

Íslenska Vegagerðin hefur ekki gefið út efniskröfur vegna endurunninnar steypu líkt og nágrannaþjóðir okkar hafa gert. Eins og fram hefur komið að ofan hefur Vegagerðin þó gefið út efniskröfur til hefðbundinna burðar- og styrktarlagsefna. Því verða niðurstöðurnar bornar saman við kröfur sem gerðar eru af norsku Vegagerðinni (Statens Vegvesen, 2014). Taka skal fram að ekki er hægt að mæla Micro-Deval gildi á Íslandi, þar sem þau tæki eru ekki til, en gerð er krafa um það í norsku handbókunum. Eins nota Norðmenn brotna steypu einungis í styrktar- og burðarlög göngu- og hjólastíga. Margar þjóðir leyfa brotna steypu í burðarlög, og Evrópustaðlarnir gera ráð fyrir að nota megi efni burtséð frá uppruna svo lengi sem það stenst efniskröfur. Því 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.

Þær prófanir sem gerðar voru á efninu voru kornadreifing, kornalögun, brothlutfall og LA próf. Steinefni sem nota á við steinsteypuframleiðslu skal vera laust við lífrænar leifar og má ekki vera þjálft. Við sjónmat sáust engar lífrænar leifar og efnið virtist vera laust við þjálmi og því ekki talin þörf á frekari greiningu.

Í byggingarreglugerð eru gerðar kröfur um að í berggreiningu fylliefnis í steinsteypu megi allt að 10% efnisins flokkast í 3. flokk skv. ÍST EN 932-3. Í þessu tilfalli er gengið út frá því að fylliefnið í steypunni sé ferskt og meðal þétt basalt og því var ekki talin þörf á berggreiningu. Veikasti hluti steypunnar er sementsefjan sem flokkast í berggreiningu sem 2. eða 3. flokks efni. Sementsefjan ætti þó ekki að vera nema um 30% af heildarsýninu. Hugsanlega hefur stór hluti efjunnar molnað utan af fylliefnunum við vinnslu og þá gæti hugsanlega restin af efninu, þ.e. 70%, verið 1. flokks efni.

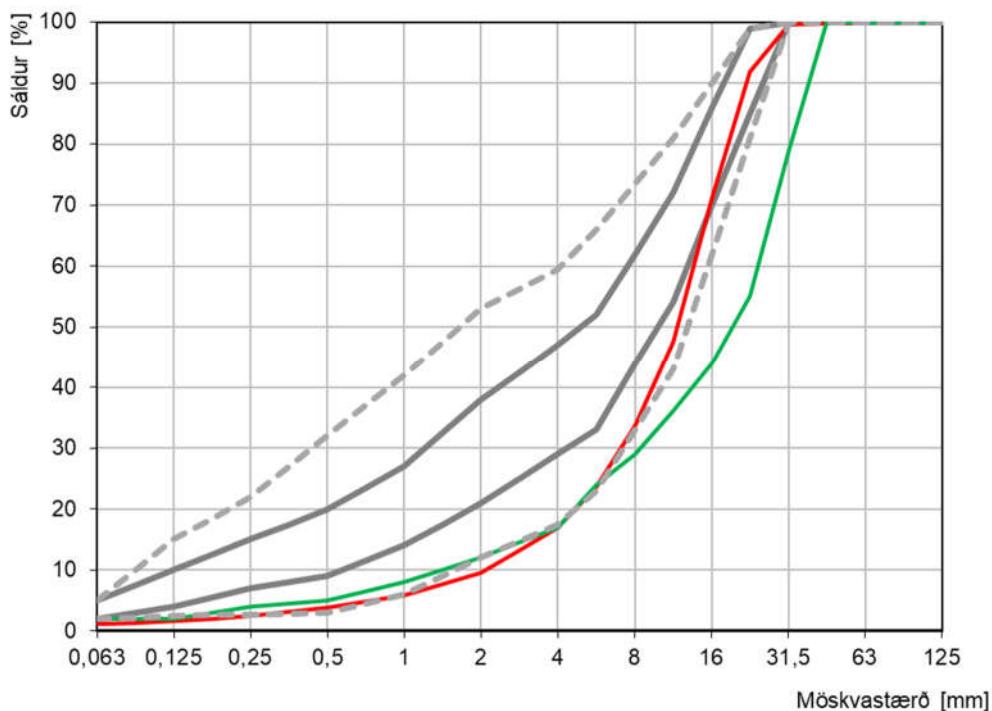
Einungis þarf að framkvæma frostþolspróf ef 3.flokks efni berggreiningar er mjög ummyndað basalt og stenst ekki gæðaflokkun. Þess háttar steinefni væri ekki hæft til notkunnar í steinsteypu, svo gert er ráð fyrir að fylliefnin séu frostþolin. Við sjónmat virtist efnið var laust við utanaðkomandi aðskotaefni s.s. plast, timbur og steypustyrktarjárn og var vegna þessa ekki framkvæmd efnagreining á efninu.

Niðurstöðublöð prófana frá rannsóknarstofu eru að finna í viðauka A.

## 6.1 Kornadreifing

Við prófun á kornadreifingu var farið eftir stöðlunum ÍST EN 933-1:2012 og ÍST EN 933-2:1995. Sýnið er þvegið, þurrkað og síðan sigtað. Kornadreifingu efnisins má sjá á mynd 6 (skv. ÍST EN 13285) (rauður ferill). Þar sést að efnið fellur að stærstu leyti innan ytri marklína fyrir 0/22 mm malað berg. Fínefnainihald er um 1% sem telst vera mjög lágt. Athyglisvert væri að fá stærra sýni sem brotið væri í hefðbundnum efnisvinnslubrjótum og taka aftur kornadreifingu.

Á mynd 6 má einnig sjá niðurstöður kornastærðardreifingar sýnisins sem prófað var og birtist í skýrslu Byggingariðnaðarins (Wigum o.fl., 2002) (grænn ferill). Eins og sést eru kúrfurnar keimlíkar og með álíka mikið af fínefnum en meira er af grófari efnum í græna ferlinum. Þar virðist kúrfan vera 0/45 mm efni.



**MYND 6** Niðurstöður kornastærðardreifingar á endurunninni steypu – sýni 1823 (rauður ferill) ásamt innri (grá, heil) og ytri (ljósgrá, brotin lína) markalínum fyrir 0/22 mm malað berg í burðarlög. Einnig hefur niðurstöðum kornastærðardreifingar á efninu úr verkefninu frá 2002 verið bætt við (grænn ferill).

Kornastærðin 0,063 mm er notuð sem viðmið þegar litið er til frostnæmis sýna í vegagerð. Út frá kornadreifingu sýnisins má gera ráð fyrir að efnið sé ekki frostnæmt. 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 Fl<sub>7</sub> eða 7%. Þetta gildi er vel innan þeirra marka sem Vegagerðin setur sem og norska handbókin. Krafan á umferðarþyngstu vegunum er að kleyfnistuðulinn sé minni en 20% eða Fl<sub>20</sub>. Samkvæmt norsku handbókinni þarf kleyfnistuðulinn að vera undir 35 fyrir burðarlög í göngu- og hjólastíga. Þetta efni fellur vel innan þeirra marka.

Í fyrri prófun sem var gerð 2002 með efni frá Höfðatúni 2 í Reykjavík mældist kleyfnistuðulinn 10,7% sem er einnig undir þeim viðmiðum sem gerð eru (Wigum o.fl., 2002).

## 6.3 Brothlutfall

Brothlutfall efnisins var prófað skv. staðli ÍST EN 933-5 á efni milli 4-63 mm. Við prófun reyndist efnið hafa brothlutfallið C<sub>94/3</sub>. Skv. Vegagerðinni er leyfileg að nota efnið þar sem árdagsumferð þungra ökutækja (ÁDU<sub>p</sub>) er meiri en 400 bílar sem er á umferðarþyngstu götum landsins.

Í fyrri prófun sem var gerð 2002 með efni frá Höfðatúni 2 í Reykjavík mældist brothlutfallið 100% sem verður að teljast mjög gott (Wigum o.fl., 2002).

## 6.4 Styrkleikapróf

Prófunaraðferðin sem notuð var til að meta styrk efnisins er Los Angeles, skv. staðli ÍST EN 1097-2. Sýnið reyndist hafa LA-gildi 37% eða LA<sub>37</sub>. Fyrir umferðarmestu vegi landsins má LA-gildið vera að hámarki 25% ef 3.flokks efni samkvæmt berggreiningu er ferskt og finblöðrótt basalt líkt og það sýni sem var notað í þessari rannsókn. Hins vegar er möguleiki að nýta efnið í burðarlög í umferðarminnstu vegi landsins þar sem þungaumferðin er að meðaltali undir 10 bílum á sólarhring (ÁDU<sub>p</sub>) sem og í styrktarlög allra vegflokka nema þar sem umferðin er mest. Samkvæmt norsku handbókinni þarf LA-gildið að vera undir 35 í styrktarlög og undir 40 fyrir burðarlög í göngu- og hjólastíga og uppfyllir efnið því þær kröfur sem gerðar eru til burðarlaga í göngu- og hjólastíga.

Í fyrri prófun sem var gerð árið 2002 með efni úr Höfðatún 2 í Reykjavík mældist LA-gildið 41,6% sem er ekki nægjanlegt til að nýta í burðar- eða styrktarlög gatna og stíga (Wigum o.fl., 2002).

## 7 LOKAORÐ

Á síðustu árum hefur ör þróun átt sér stað á sviði endurvinnslu og endurnýtingar byggingarúrgangs í mörgum löndum Evrópu og víðar á þéttbýlum svæðum. Ísland er háð reglugerðum ESB og þjóðfélagið gerir sífellt auknar kröfur um sjálfbæra þróun og að vel sé haldið utan um auðlindir landsins. Bæði er um að ræða sífellt hertari reglur um förgun úrgangs, sem og skort á nýjum hráefnum til mannvirkjagerðar. Sums staðar hefur skilagjald verið innleitt á byggingarúrgang og annars staðar hafa lög verið sett um að ákveðið hlutfall af endurunnu eða endurnýttu efni eigi að nota í ný mannvirki. Á Íslandi hefur orðið nokkur aukning á að mannvirki séu brotin niður og er mikilvægt að niðurbrotsefnið sé nýtt í stað þess að því sé fargað. Sams konar niðurbrotsefni telst vera gott efni víða annars staðar í heiminum og er endurrunnið og notað í mannvirki svo sem burðar- og styrktarlög vega og stíga.

Niðurstöður þessa verkefnis sem og reynsla manna annars staðar frá gefa tilefni til bjartsýni. Hérna er gott efni sem full ástæða er til að endurvinna og nýta en mikilvægt er að leggja áherslu á eiginleika en ekki uppruna efnisins. Þetta rannsóknarverkefni gæti leitt til þess að minna efnismagn færi til urðunar og í landfyllingar miðað við núverandi ástand.

## 8 HEIMILDIR

- 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 (2019). Ecoinvent Database, version 3.4.
- 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.
- EFLA (2018). Endurunnin steypa í burðarlög vegna. Rannsóknarverkefni Vegagerðarinnar. 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.
- Fischer, C. and Werge, M. (2009), “EU as a Recycling Society. Present Recycling Level of Municipal Waste and Construction & Demolition Waste in the EU”. European Topic Centre on Sustainable Consumption and Production, Copenhagen.
- 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 (2019). GaBi Professional Database.
- 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.
- NHP4 (2017), Handlingsplan 2017-2020. ISBN 978-82-998086-7-5, NHP-nettverket C/O NFFA, post@nffa.no – www.nffa.no. Sótt 21.5.2019 á [www.byggemiljo.no](http://www.byggemiljo.no)
- Phillips, P. (2001). Recycling and the Asphalt Industry, Quarry management, Sept. 2001. Bls. 19–24.
- Pihl, K.A., Berg, F. & Milvang-Jensen, O. (2004). Ubundne bærelag af knust beton, efter europæiske standarder. Vejdirektoratet & Vejteknisk Institut, Danmörku.
- 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 (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/>
- Tangen, Dag Alte & Evensen, Ragnar. (2013). Bruk av knust betong i vegbygging, Varige veger 2011-2014. Statens Vegvesens Rapporter, Nr. 262. Statens Vegvesen, Noregi.
- The ROADX Network (2019). 2. Water in road materials and subgrade soils, terminology. Sótt 21.5.2019 á <https://www.roadex.org/e-learning/lessons/drainage-of-low-volume-roads/water-in-road-materials-and-subgrade-soils-terminology/>.
- Umhverfis- og auðlindaráðuneytið (2018). Aðgerðaáætlun í loftslagsmálum 2018-2030. <https://www.stjornarradid.is/lisalib/getfile.aspx?itemid=b1bda08c-b4f6-11e8-942c-005056bc4d74> [Sótt: 16-jún-2019].
- 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. Vagverket, Svíþjóð.
- Vegagerðin (2012). Sprengt berg í vegagerð, handbók fyrir vegagerðarmenn. Vegagerðin, Ísland.
- Vegagerðin (2019). 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.
- Ydrevik, K. & Arm, M. (2001). Krossad betong i vägar, erfarenheter från Sverige. Dansk Vejtidskrift, Danmörku.



## VIÐAUKI A - NIÐURSTÖÐUBLÖÐ RANNSÓKNARSTOFU

## A.1 Kornadreifing



Verkkaup  
**Vegagerðin**  
Umboði af  
Dorbjörg Sævarsdóttir

## Kornadreifing

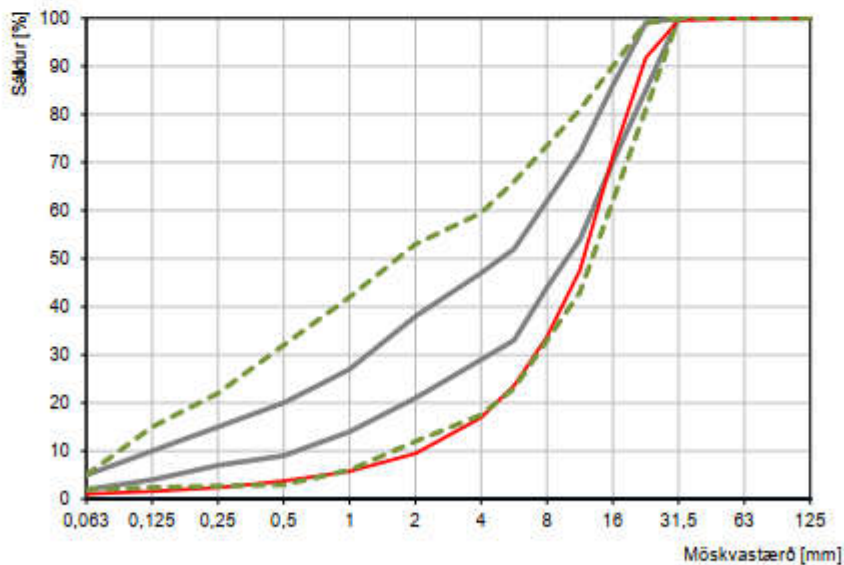
Prófunarstöð:  
ASTM C127/C128/C136/D3487;  
BS 812; ISY EN 933-1/933-2

Verk nr.  
**2970-279**  
Prentað dags.  
**2.4.2019**

Uppfild nr.	Sýni	Sýni merkt.	Sýni nr.	Dags. prófs	Frækv. af	Raki (%)	Fínefni < 0,063mm (%)
1108	Steypubrot, 0-22,4 mm	0-22,4 mm	1823	27.3.2019	VB	6%	1,0

### 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, 0-22,4 mm [%]	1	2	2	4	6	9	17	24	34	48	71	92	100	100	100	100	100



— Merkallinnur I: Markallinnur fyrir malað 22 mm berg í burðarlög. Innni mörk.  
- - - Merkallinnur II: Markallinnur fyrir malað 22 mm berg í burðarlög. Ytri mörk.

Athugasemdir:

## A.2 Kleyfnistuðull



## Kleyfnistuðull

Verkkaupi  
**Vegagerðin**  
 Umbeðið af  
**Þorbjörg Sævarsdóttir**

Verknr.  
**2970-279**  
 Prentað dagsetn.  
**2.4.2019**

## Upplýsingar um sýni

Sýni	Kornastærð	Sýni nr.
<b>Ómerkt</b>	<b>0-22,5 mm</b>	<b>1823</b>
Sýni, lýsing	Sýnataka	Uppfletti nr.
<b>0-22,5 mm steypumulningur/brot</b>		<b>30</b>
Sýnisgerð	Verkefni	
	<b>Ýmsar prófanir</b>	

## Niðurstöður

Prófunaraðferð  
**IST EN 933-3:1997**

Dags. prófunar  
**26.3.2019**

Frkv. af  
**VB**

Heildarþyngd sýnis	4758,2 g
Þyngd á 80 mm sigti	0,0 g
Þyngd efnis gegnum 4 mm sigti	1213,8 g
Heildarmagn efnis sem er ekki nýtt	1213,8 g

## Kornastærðardreifing

Móskvastærð [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	94	79	57	38	27	18	11	4	0

## Kleyfnistuðlar

Móskvastærð [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	92	83	70	48	34	23	15	5	0
Kleyfnistuðull	-	-	-	-	10	5	4	-	9	9	8	12	9

Kleyfnistuðull 7

Athugasemdir

## A.3 Los Angeles próf



Hæðisberg, Lyncháa 4, 110 Reykjavík  
Sími 412 0000 - Faxi 412 0001  
Tölvupóstur: [efla@efla.is](mailto:efla@efla.is)  
Vefsíða: [www.efla.is](http://www.efla.is)

## Los Angeles próf

Verkkaup  
**Vegagerðin**  
Umboð af  
**Þorbjörg Sævarsdóttir**

Verk nr.  
**2970-279**  
Prentað dags.  
**2.4.2019**

### Upplýsingar um sýni

Sýni  
**Steypubrot**  
Sýni merkt  
**ómerkt**  
Dags. prófunar  
**29.3.2019**

Tilvisun  
**Endurvinnsla steypu**  
Sýnagerð  
**0-22,4 mm**  
Framkv.  
**VB**

Sýni nr.  
**1823**  
Upplétt nr.  
**37**

### Efniseiginleikar

Pröfunaraðferð  
**IST EN 1097-2**

Dyngd sýnis fyrir próf 10-14 mm (g)	<u>5000</u>
Dyngd sýnis >1,6 mm eftir próf (g)	<u>3150,5</u>
<b>LA stuðull</b>	<u><b>37,0</b></u>

Athugasemdir:

## A.4 Brothlutfall malar



## Brothlutfall malar

Verkkaupi  
**Vegagerðin**  
 Umbeðið af  
**Þorbjörg Sævarsdóttir**

Verknr.  
**2970-279**  
 Prentað dagsetn.  
**29.3.2019**

---

 Upplýsingar um sýni

Sýni	Verkefni	Sýni nr.
<b>Endurvinnsla steypu</b>	<b>Styrkingarmöguleikar efra burðarlags</b>	<b>1823</b>
Sýni, lýsing	Sýnataka	
	<b>Vegagerðin</b>	
Sýnisgerð	Kornastærð	
<b>Steypa, uppbotin</b>	<b>0-22,4mm</b>	

---

 Niðurstöður

Prófunaraðferð	Dagsetn. prófunar	Framkv. af
<b>IST EN 933-5</b>	<b>29.3.2019</b>	<b>VB</b>

$C_{tc} =$	<b>76%</b> Hlutfall malar alveg brotin	$C_{tc} > 90\%$
$C_c =$	<b>18%</b> Hlutfall malar brotin	$50\% < C_c < 90\%$
$C_r =$	<b>3%</b> Hlutfall malar óbrotin	$50\% < C_r < 90\%$
$C_{tr} =$	<b>3%</b> Hlutfall malar alveg óbrotin	$C_{tr} > 90\%$

---

 Athugasemdir