



Rannsóknastofnun
byggingariðnaðarins

Rb/SfB

19 | (7)X | (V₃)

UDK: 628.4

Skýrsla nr. 02–12

Byggingarúrgangur á Íslandi Gagnagrunnur og umhverfismat

Hlutar II & III: Endurunnin steypa – nýtt hráefni?



Børge Johannes Wigum og Þorbjörg Hólmgeirsdóttir, ERGO
Edda Lilja Sveinsdóttir, Helgi Hauksson og Guðni Jónsson, Rb
Halla Jónsdóttir, Aron Jóhannsson og Bryndís Skúladóttir, ITÍ


Iðntæknistofnun


ERGO
Engineering
Geology Ltd.

Keldnaholti, desember 2002

EFNISYFIRLIT

ÁGRIP	4
1. INNGANGUR	5
2. STAÐAN Í EVRÓPU	7
2.1 ENDURUNNIÐ EFNI NOTAÐ Í VEGAGERÐ	7
2.1.1 <i>Kröfur og reglugerðir</i>	7
2.1.2 <i>Reynslan í rannsóknarstofu</i>	9
2.1.3 <i>Endurunninn steypa í vegagerð – reynsla</i>	11
2.1.3.1 „Lahti Motorway Load bearing Structures“ – Finnland	11
2.1.3.2 Reynsluvegarkafli – Fornebu, Osló, Noregi.....	11
2.1.3.3 Spítali í Þrándheimi, niðurrif og endurvinnsla – Noregi	11
2.2. ENDURUNNIÐ EFNI NOTAÐ Í STEINSTEYPU	12
2.2.1 <i>Kröfur og reglugerðir</i>	12
2.2.2 <i>Reynslan í rannsóknarstofu</i>	14
2.2.3 <i>Endurunnin steypa í steipt mannvirki – reynsla</i>	17
2.2.3.1 „Rijkswaterstaat Demonstration Projects“ – Holland.....	17
2.2.3.2 Umhverfisbygging, Rannsóknastofnun breska byggingariðnaðarins.....	17
2.2.3.3 „Gjenbrukshus“ í Osló, Noregi.....	18
2.2.3.4 „The Delftse Zoom Housing Project“ – Holland.....	18
3. ÍSLENSKAR PRÓFANIR	19
3.1 HRÁEFNI – ENDURUNNIN STEYPA	19
3.1.2 <i>Þrýstipól og loftdreifing steinsteypu</i>	20
3.2 VEGTÆKNIPRÓFANIR MEÐ TILLITI TIL BURÐARLAGSEFNA	21
3.2.1 <i>Inngangur</i>	21
3.2.2 <i>Lýsing prófana og niðurstöður</i>	21
3.2.2.1 Kornastærðardreifing	21
3.2.2.2 Raki.....	21
3.2.2.3 Proctor- og CBR-próf.....	21
3.2.2.4 Kúlnakvarnarpróf.....	22
3.2.2.5 Burðarþól í stórum stálhólk	22
3.2.2.6 Kornarúmþyngd og vatnsisög	22
3.2.2.7 Berggreining	22
3.2.2.8 Kornalögun – kleyfnistuðull.....	23
3.2.2.9 Frostþól steinefna	23
3.2.2.10 Bg-stuðull.....	23
3.2.2.11 LA-próf.....	24
3.2.2.12 Brothlutfall.....	24
3.2.2 <i>Samanburður við kröfur til fylliefna í vegagerð</i>	24
3.3 PRÓFSTEYPUR ÚR ENDURUNNINI STEYPU	27
3.3.1 <i>Mælingar</i>	28
3.3.2 <i>Niðurstöður</i>	28
3.3.2.1 Loftinnihald í ferskri steypu	28
3.3.2.2 V/s-hlutfall	28
3.3.2.3 Loftkerfi í harðnaðri steypu.....	28
3.3.2.4 Þrýstipól	28
3.3.2.5 Kleyfniþól	28
3.3.2.6 Fjaðurstuðull	29
3.3.2.7 Vatnspéttipróf	29
3.3.2.8 Rýrnunarpróf.....	29
3.3.2.9 Alkalípróf.....	30
3.3.2.10 Frostþíðupróf.....	31
3.3.3 <i>Lokaorð – samantekt</i>	31

4.	VISTFERILSGREINING	32
4.1	INNGANGUR	32
4.2	EFNI OG AÐFERÐIR	33
4.3	KOSTNAÐARGREINING	34
4.4	VISTFERILSGREINING	34
4.4.1	<i>Umfang, skilgreining og markmið greiningar</i>	34
4.4.2	<i>Gagnasöfnun (Life Cycle Inventory Analysis)</i>	36
4.4.3	<i>Áhrif á umhverfi (Life Cycle Impact Assessment)</i>	36
4.4.4	<i>Greining á niðurstöðum (Life Cycle Interpretation)</i>	37
4.5	NÍÐURSTÖÐUR	37
4.5.1	<i>Vistferilsgreining á byggingarúrgangi</i>	37
4.5.1.1	Burðarlagsefni í veg	37
4.5.1.2	Steypa unnin í steypumulning og steypa sem fer sem fyllingarefni á tipp Hafnarinnar	38
4.5.1.3	Flutningar.....	40
4.5.1.4	Endurvinnsla	40
4.6	KOSTNAÐARGREINING Á NÝTINGU STEYPU Í VEGAGERÐ	42
4.6.1	<i>Samanburður á kostnaði við burðarlagsefni í veg, dæmi 1 og 2.</i>	42
4.6.2	<i>Samanburður á kostnaði af steypumulningi og fylliefni úr steypu, dæmi 2 og 3.</i>	43
4.6.3	<i>Einstakir kostnaðarliðir í greiningunni sundurliðaðir</i>	46
4.6.3.1	Flutningskostnaður	46
4.6.3.2	Fögunarkostnaður	46
4.6.3.3	Launakostnaður	47
4.7	HELSTU NÍÐURSTÖÐUR.....	47
4.8	UMRÆÐUR	47
4.9	FORSENDUR	48
4.	FRÁ RÁÐSTEFNUNNI „VISTVÆN BYGGINGARSTARFSEMI“ ...49	
5.1	INNGANGUR	49
5.2	FRAMSÖGUERINDI	50
5.3	AIR-OPERA.....	53
6.	SAMANTEKT OG FRAMTÍÐARMÖGULEIKAR Á ÍSLANDI54	
6.1	SAMANTEKT	54
6.1.1	<i>Helstu vandamál varðandi endurvinnslu BÚ í Evrópu</i>	54
6.1.2	<i>Almennt um reynslu af notkun BÚ í vegagerð</i>	54
6.1.3	<i>Almennt um reynslu af notkun BÚ í steinsteypu</i>	54
6.1.4	<i>Íslenskar prófanir á endurunnu efni sem burðarlagsefni</i>	55
6.1.5	<i>Íslenskar prófsteypur úr endurunnu efni</i>	56
6.1.6	<i>Samantekt um vistferilsgreiningu</i>	56
6.1.7	<i>Samantekt um kostnaðargreiningu</i>	56
6.2	FRAMTÍÐARMÖGULEIKAR Á ÍSLANDI	57
	ÞAKKARORÐ	59
7.	HEIMILDIR	60
	VIÐAUKAR	64

ÁGRIP

Með skýrslu þessari lýkur öðrum og þriðja áfanga verkefnisins „Byggingarúrgangur á Íslandi – gagnagrunnur og umhverfismat“.

Í öðrum kafla skýrslunnar er skoðuð staðan í Evrópu á notkun endurunninnar steypu. Gerð er grein fyrir kröfum sem gerðar eru til endurunninnar steypu í vegagerð og samantekt er gerð um reynslu af notkun, í rannsóknarstofum annars vegar og raunveruleikanum hins vegar. Samsvarandi yfirlit er yfir endurunnið efni notað í nýja steypu.

Í þriðja kafla er skýrt frá prófunum sem gerðar voru á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins á einni gerð af íslenski endurunninni steypu. Bæði voru gerðar vegtæknilegar prófanir með tilliti til burðarlagsefna og búin til prófsteypa úr þeirri steypu. Lögð er áhersla á samanburð við prófanir og kröfur til hefðbundinna steinefna.

Rannsóknaprófanir sýna að hægt er að framleiða ágæta húsasteypu með allt að 50% endurunna steypu sem fylliefni (möl). Þessi tiltekna steypa uppfyllir hins vegar ekki nokkrar lágmarkskröfur varðandi burðarlagsefni í sumum vegtæknilegum prófunum. Kröfurnar miðast hins vegar aðeins við hefðbundið steinefni og þarf að móta kröfur fyrir endurunna steypu til nota í burðarlög á Íslandi.

Í fjórða kafla er aðferðafræði vistferilgreiningar notuð til að framkvæma umhverfismat, sem er einfölduð útgáfa vistferilgreiningar. Þetta var gert til að kanna fýsileika þess að endurvinna steypu í burðarefni til vegagerðar. Vonast er til að greiningin geti nýst verktökum og öðrum byggingaraðilum sem og stjórnvöldum til vinnu og ákvarðanatöku.

Niðurstöður vistferilgreiningar sýna að vinnsla eins rúmmetra af steypu-mulningi er töluvert dýrari en samsvarandi vinnsla af mól í veg. Þegar verið er að rífa hús er það hinsvegar lítilt viðbótarkostnaður að vinna steypumulning úr steypunni og sé hægt að selja hann þá er það hagkvæmt.

Loks eru ræddir framtíðarmöguleikar á að nota endurunna steypu í mannvirkjagerð á Íslandi. Til að stuðla að notkun endurunninnar steypu sem burðarlagsefnis á Íslandi er eindregið mælt með gerð tilraunarvegakafla.

1. INNGANGUR

Byggingarúrgangur (BÚ) er að magni til stærsti einstaki flokkur úrgangs sem fellur til á byggðu bóli. Talið er að árlega falli til um 0,7 til 1 tonn af byggingarúrgangi (*construction and demolition waste*) á hvern íbúa í Vestur-Evrópu. Þetta magn er um tvisvar sinnum meira en magn heimilisúrgangs á hvern íbúa. Það er yfirlýst stefna Evrópusambandsins að standa við gefin loforð um sjálfbæra þróun í sínum ríkjum, m.a. með því að minnka notkun nýrra hráefna í byggingariðnaði og auka að sama skapi endurnýtingu efnis. Það hefur samt gengið hægt og er ástæðan aðallega skortur á stöðlum og reglugerðum um endurunnin efni í mannvirkjum.

Hérlendis hafa stjórnvöld tekið upp stefnu Evrópuþjóða og er henni lýst í framkvæmdaáætluninni „Sjálfbær þróun í íslensku samfélagi“ (Umhverfisráðuneytið, 1997) og eru þar sett fram skýr markmið um meðferð úrgangs. Þar segir að setja skuli meðhöndlun úrgangs fram í ákveðinni forgangs röð:

„Að draga úr magni úrgangs, að endurnota og endurnýta það sem mögulegt er og farga því sem afgangur er á þann veg að það skaði umhverfið sem minnst. Reynt skal að draga úr úrgangsmýndun á Íslandi þannig að það sem fer í endanlega förgun verði um 50% minna um næstu aldamót en árið 1990...“

„Fræðsla til fyrirtækja og neytenda verði aukin eftir megni þannig að öllum sé ljóst hvernig draga megi úr úrgangsmýndun og hvert skila skal spilliefnum og úrgangi til endurnýtingar.“ Ein af þeim leiðum sem bent er á í framkvæmdaáætluninni er að „fyrirtæki verði hvött til að minnka óæskileg áhrif vöru á umhverfið strax við hönnun og þróun hennar. Skoða þarf allan lífsferil vörunnar.“

Verkefnið „Staðardagskrá 21“, sem allmörg sveitarfélög landsins taka þátt í, stuðlar að því að sveitarfélög móti stefnu og framkvæmdaáætlun um úrgangsmál ásamt skipulagsmálum í sinni sveit. Þar er gert ráð fyrir að sveitarfélög byggji á sjálfbærri þróun og hringrásarhugsun við útfærsluna. Þetta verði gert með þeim hætti að umhverfinu stafi ekki hætta af, t.d. með lágmarksorkunotkun og -flutningsþörf við endurnýtingu.

Rannsóknaverkefnið „Byggingarúrgangur á Íslandi – gagnagrunnur og umhverfismat“ fellur vel að þessum markmiðum þar sem forsenda þess að unnt sé að veita fræðslu og stuðla að raunhæfum leiðum til úrbóta er að þekking á umfangi og gerð byggingarúrgangs sé fyrir hendi.

Í fyrstu skýrslu verkefnisins (Edda Lilja Sveinsdóttir o.fl., 2001) var gerð úttekt á því hvað, hvar og hve mikið fellur til af úrgangi í byggingariðnaði hérlendis, og þeim upplýsingum var komið fyrir í gagnagrunni. Sagt var frá hvernig byggingarúrgangur er meðhöndlaður víðs vegar um landið og hvaða reglugerðir eru gildandi hér um þessi mál. Einnig var greint frá því hvernig hin ýmsu lönd í Evrópu taka á þessum málum og hvernig tölulegar upplýsingar um magn sem þar fellur til eru fengnar. Í skýrslunni kom fram að magn BÚ á Íslandi er svipað því sem gerist í löndum ESB, eða um 600 kg á

mann/ári og var höfuðborgarsvæðið tekið sem viðmið vegna þess hve erfitt var að fá heildstæðaræn mynd af afdrifum BÚ á landsbyggðinni.

Í þessum hluta verkefnisins hefur verið gerð heimildarúttekt á nýtingu endurunnins efnis í mannvirkjagerð í Evrópu. Áhersla hefur verið lögð á tæknilega eiginleika og reynslu við að nýta gamla steypu í vegagerð og í nýja steypu. Notuð var steypa úr gömlu Söginni (Höfðatúni 2) sem var rifin í júní 2001. Það efni var flokkað og unnið eins og venjulegt fylliefni í steinsteypu og gerðar á því hefðbundnar fylliefnaprófanir. Síðan voru gerðar prófanir á steypublöndum og vegtæknilegar prófanir. Við mat á niðurstöðum voru hafðar til hliðsjónar þær kröfur sem gerðar eru á Íslandi til steypu- og burðarlagsefna. Markmið þessa hluta verkefnisins var að kanna hvort notkun endurunninna efna hentar á Íslandi.

Þessi áfangi hefur verið unninn samhliða þeim þætti verkefnisins sem snýr að vistferilgreiningu og hagkvæmnimati. Til að gera vistferilgreininguna og hagkvæmnimatið hefur eftirfarandi verkferli verið kortlagt:

- Hvað þarf til að endurunnin steypa henti sem hráefni í burðarlag í vegagerð.
- Hvað þarf til að hráefnið endurunnin steypa henti sem fylliefni í steypu.

Fyrir hvert þessara skrefa hefur verið áætlaður fjármagnskostnaður, rekstrar-kostnaður og kostnaður fyrir umhverfið. Niðurstöður hafa verið teknar saman og túlkaðar.

Verkefnið var styrkt af Upplýsinga- og umhverfisáætlun Rannís og þessi hluti var einnig styrktur af Vegagerðinni.

2. STAÐAN Í EVRÓPU

Eins og kemur fram í fyrri skýrslu verkefnisins (Edda Lilja Sveinsdóttir, o.fl., 2001) hefur á síðustu árum verið ör þróun á sviði endurvinnslu og endurnýtingar byggingarúrgangs í mörgum löndum Evrópu og víðar þar sem þéttbýlt er. Bæði er um að ræða skort á nýjum hráefnum til mannvirkjagerðar og sífellt hertar reglur um förgun úrgangs. Sum lönd hafa innleitt skilagjald á byggingarúrgang og önnur hafa sett lög um að það beri að nota ákveðið hlutfall af endurunnu eða endurnýttu efni í ný mannvirki.

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*). Markmið sem iðnaðurinn hefur sett sér eru m.a. þau að öll skaðleg efni tengd byggingarúrgangi á að meðhöndla á öruggan hátt, BÚ á ekki að farga á ólöglegan hátt og fyrir árið 2005 eiga einungis 30% af BÚ fara á tipp (jarðvegslosunarstaði).

Munur er á endurnýtingu og endurvinnslu byggingarúrgangs. *Endurnýting* er það þegar viðkomandi hlutur er notaður aftur án þess að hann sé unninn meir. Víða hafa myndast nýir markaðir þar sem settar hafa verið upp „second-hand shops“ fyrir mismunandi byggingarhluta til endurnýtingar. Dæmi eru til á netinu um skrár yfir endurnýttar byggingarhluta sem eru til sölu. Einnig hafa mismunandi aðilar unnið nýja nýtanlega hluti úr byggingarúrgangi, t.d. flísar sagaðar úr múrsteinum. Endurnýting er umhverfisvænni en endurvinnsla vegna þess að *endurvinnsla* felur í sér umbreytingu úrgangsefna í vöru til upprunalegra eða annarra nota og sú endurvinnsla hefur áhrif á umhverfið. Endurvinnsla er mun umhverfisvænni en förgun hluta og má með henni skapa mikil verðmæti, spara náttúruauðlindir með það að markmiði að sporna við mengun umhverfisins. Hinsvegar er aðeins lítill hluti byggingarúrgangs endurnýtanlegur. Í þessu verkefni er eingöngu horft til endurvinnslu steinsteypu til mannvirkjagerðar, þar sem áhersla hefur fyrst og fremst verið lögð á tæknilega eiginleika og reynslu af notkun.

2.1 Endurrunnið efni notað í vegagerð

2.1.1 Kröfur og reglugerðir

Núgildandi staðlar, kröfur og reglugerðir taka ekki mið af notkun endurunnins efnis í vegagerð.

Á vegum CEN (1995) vinnur tækninefnd (TC-154 sem sér um fylliefni (*aggregates*)) að endurskoðun staðla um endurunnin efni og er reiknað með að þeir muni taka gildi árið 2004.

Almennt er gert ráð fyrir að allir staðlar feli í sér að hægt verði að nota þá einnig fyrir endurunnin efni, en nokkrar breytingar er verið að gera á nokkrum röðum til þess að unnt verði að ná yfir endurunnin efni einnig. Þannig verður staðli um þurrkrýrnun (*drying shrinkage*) breytt til að ná yfir

Þessi efni og bætt verður við staðli, prEN 933-11 um flokkun á grófu fylliefni (*classification test for the constituent of coarse aggregates*). Í röðina prEN 1744 um efnafræðiprófanir (*chemical test*) verður bætt við 2 stöðlum: 1744-5 ákvörðun sýruleysanlegra salta (*determination of acid soluble salts*) og 1744-6 ákvörðun áhrifa enduruninna fylliefna á storknunartíma sements (*determination of the influence of recycled aggregates extraction on the initial setting time of cement*).

Árið 1994 var myndaður vinnuhópur til að vera tækninefndinni til ráðgjafar um endurinnið steinefni. Hópnun var stýrt af Rannsóknastofnun breska byggingar-iðnaðarins, BRE. Tækniháskólanum í Delft var falið að undirbúa drög að staðli fyrir nýtingu á endurunnu steinefni sem óbundu og bikundu steinefni. Í töflu 2.1.1 er yfirlit yfir þá nýtingarmöguleika sem skoðaðir voru í verkefninu.

Tafla 2.1.1. Möguleikar á nýtingu endurunns steinefnis, frá CEN/TC 154/SC 6 N 606.

Gerð endurunns steinefnis	Burðarlag vega				Slitlag vega			Steypa
	Óbundið	Sements-bundið	Vatns-bundið	Íkundi	Óbundið	Sements-bundið	Þikbundið	
Múrsteinar	X	X	O	O	O	O	O	-
Steypa	X	X	X	O	O	X	O	-
Blandað	X	X	X	O	O	X	O	-
Malbik	X	X	O	-	O	O	-	-
Blanda alls ofangreinds	O	O	O	O	O	O	O	-

- X Möguleg nýting skoðuð.
O Ekki vanaleg notkun, möguleg nýting því yfirleitt ekki skoðuð.
- Ekki skoðuð.

Í drögnum eru gerðar tillögur að mæliaðferðum og kröfum vegna tiltekinna eiginleika. Kröfurnar eiga við eiginleika efnisins við afhendingu. Eiginleikarnir eru þríþættir, sjá nánar í töflu 2.1.2.

Tafla 2.1.2. Þrískipting eiginleika steinefnis.

	Lýsing	Dæmi
Grunneiginleikar	Grunneiginleikar velta fyrst og fremst á eðli steinefnisins. Ekki er hægt að hafa marktæk áhrif á þá á framleiðslustigi eða við blöndun.	Brotþol efnisins og samsetning þess, t.d. lífrænt innihald, mengandi þættir, efnislýsing, umhverfisþættir.
Vinnslueiginleikar	Hægt er að hafa áhrif á eða breyta þessum eiginleikum með framleiðsluáðferðum.	Kornastærð, kornalögun, fínefnismagn.
Aðrir eiginleikar	Hér er átt við eiginleika sem eru sértækir fyrir tiltekna notkun eða umhverfi.	Frostþol og CBR.

Gerðar eru tillögur um prófunaraðferðir og kröfur. Bent er á nauðsyn frekari rannsókna til að meta hvaða mæliaðferðir henti best til mælinga á endurunnu steinefni. Áhersla er lögð á virkt gæðaeftirlit.

2.1.2 Reynslan í rannsóknarstofu

Á vegum fjórðu rammaáætlunar Evrópusambandsins var á árunum 1998–99 unnið að verkefni ALT-MAT (*ALTERNative MATerials in road construction*) (<http://www.trl.co.uk/altmat>). Markmið verkefnisins var að þróa prófunaraðferðir til að meta hæfni óhefðbundinna efna í vegbyggingar, þá sérstaklega í óbundin burðarlög (Reid, 2001). Níu aðilar frá sjö löndum tóku þátt í því og meðal efna, sem prófuð voru, var endurunnin steinsteypa. Í rannsóknarstofu voru efnin prófuð m.a. með Los Angeles-prófunum, Micro-Deval-prófunum, „gyratory compaction“ og „vibrating table test“. Niðurstöður prófana studdu þá tilgátu að *endurunnin* efni myndu gefa aðrar niðurstöður en hefðbundin efni. *Endurunnin* efni gefa yfirleitt mun hærra Los Angeles-gildi en hefðbundin efni, sem bendir til þess að þetta séu veikari efni. Hinsvegar sýndi reynsla frá tilraunavegaköflum að *endurunnið* efni stóð sig mun betur en búast mátti við út frá mæliniðurstöðum. Endurunnin efni voru jafngóð og stundum betri en hefðbundin efni. Ástæðan er sú að í gamalli steypu er oftast til staðar óvatnað sement, sem síðan vatnast (hvarfast) við að komast í samband við vatn og steypan verður sterkari. Í niðurstöðum verkefnisins er mælt með prófunum sem styðjast við titrun frekar en höggáraun. Einnig er mælt með því að þróuð verði prófunaraðferð fyrir endurhvörfun/endurhörðun, t.d. fyrir steypu, þar sem þetta getur með tímanum haft veruleg áhrif á styrkleika efnisins.

Phillips (2001) fjallar í yfirlitsgrein um breska malbiksiðnaðinn og endurvinnslu. Eitt meginviðfangsefnið er hvers vegna malbiksiðnaðurinn ætti að nota efni sem hefur hingað til verið notað til landfyllingar þegar aðgengi að góðu steinefni hefur hingað til verið svo til óheft. Upphaflegu ástæðuna má rekja til ráðstefnunnar í Rio árið 1992, en í kjölfar hennar var aukin áhersla lögð á að minnka úrgang, endurnýta og endurvinna. Að hluta til er hægt að ná þessum markmiðum með betri skipulagningu, hönnun og vali á hráefni en áhersla hefur einnig verið lögð á endurvinnslu á eldra malbiki. Góður árangur hefur náðst í því og má nýta eldra malbik í heitar og kaldar blöndur sem eru búnar til á staðnum, í kaldar blöndur sem eru fluttar á svæðið og í þeytibik. Ördugt hefur reynst að nýta byggingarúrgang – s.s. múrsteina, steypu, múr og aðra múrhúð, timbur – í breskum malbiksiðnaði og er það fyrst og fremst vegna þess hversu illa efnið er flokkað við niðurbrot.

Það sem einna helst hefur hamlað aukinni endurnýtingu byggingarúrgangs (og annars úrgangs) er að ekki hefur legið fyrir mat á arðsemi slíks og einnig hefur skort reglur og kröfur sem lúta að vinnslu og eiginleikum. Ekki er hægt að réttlæta aukna endurvinnslu nema sýna megi fram á arðsemi og tryggja verður nægt framboð og gæði efnisins.

Hægt er að nota nánast hvaða endurunnið efni sem vera skal í malbik en gæðin verða kannski ekki endilega sambærileg við malbik sem er eingöngu unnið úr „nýju“ hráefni (Phillips, 2001). Á undanförunum árum hefur verið lögð aukin áhersla á að viðhalda þeim mestu gæðum sem þekkjast og jafnframt að bæta endingu mannvirkja eins og kostur er. Þekking á eiginleikum endurunnins efnis þegar það er nýtt í mannvirki er smám saman að aukast og nýttist í auknum mæli við ákvarðanatöku.

Að öllu jöfnu er verndun auðlinda helsta ástæða þess að BÚ er endurunnið. Í sumum tilfellum er endurvinnsla þó ekki réttlæt看leg, t.d. ef henni fylgir mengun eða flutningsvegalengdir eru miklar. Á undanföllum árum hefur mat á útboðum breyst, m.a. er í auknum mæli farið að taka tillit til umhverfisstefnu verktaka.

Phillips segir að endurvinnslan og nýting í mannvirkjagerð sé ekki vandamál en tryggja þarf að hún sé ekki á kostnað gæða þannig að viðhald aukist í staðinn. Hann telur að miklir möguleikar séu í endurvinnslu og að 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 BÚ í viðunandi horf.

Í Bretlandi er lítið notað af endurunnu steinefni til vegagerðar enn sem komið er (Hill o.fl., 2001). Vinnsla steinefnis í námum hefur ýmis umhverfisáhrif, gengið er á óendurnýjanlegan forða og mikið fellur til af úrgangi og aukaafurðum. Höfundar benda á tvær leiðir til að minnka notkun „fersks“ steinefnis (efnis sem er unnið úr námu) án þess að fækka framkvæmdum. Annars vegar megi auka nýtingu hráefnis í námu og hins vegar auka notkun á öðru efni, t.d. endurunnu efni, en rannsóknir á báðum þessum möguleikum vegna notkunar til vegagerðar og í umfangsmiklar fyllingar eru í gangi við Háskólann í Nottingham. Niðurstöðurnar hafa verið notaðar til að þróa kröfur til að meta endurunnið efni, bæði hvað varðar tæknilega eiginleika og umhverfisþætti. Að auki hefur í CoURAgE verkefninu (evrópskt samstarfsverkefni um óbundin burðarlög) verið athugað hvernig má bæta nýtingu steinefnis í óbundnum burðarlögum en hægt er að bæta nýtingu náttúrulegs steinefnis með góðri hönnun og góðu verklagi við útlögn.

Í steiptum mannvirkjum er alltaf einhver hluti steypunnar óharðnaður. Þegar slíkir mannvirki eru endurunnin í steinefni og það síðan notað í t.d. óbundin burðarlög getur hörðnun gömlu steypunnar haldið áfram. Í Svíþjóð hefur verið kannað hvað megi búast við mikilli endurhörðnun í slíku efni (Arm, 2001). Niðurstöður mælinga á rannsóknastofu sýna umtalsverða aukningu með tíma, mest fyrst. Þessi aukning er jafnvel enn meiri í feltprófunum, en styrkur burðarlags getur allt að tvöfaldast á tveggja ára tímabili. Til samanburðar voru sömu mælingar gerðar á hefðbundnu steinefni en engar breytingar mældust með tíma.

Í finnsku rannsóknarverkefni var m.a. unnið að kröfum til að meta tæknilega og umhverfislega möguleika á því að nýta frákastefni og endurunnið steinefni til vegagerðar og annarra jarðvegsframkvæmda (Mroueh o.fl., 2001). Þessi vinna var samvinnuverkefni nokkurra rannsóknarstofnana. Ítarleg úttekt var gerð á umhverfislegum, lagalegum og tæknilegum forsendum þess að nota slíkt efni. Það efni sem líkist mest náttúrulegu steinefni nýtist best. Kröfurnar ná til hefðbundinna jarðvegsframkvæmda eins og vegagerðar og undirstaðna mannvirkja. Mælt er með því að endurunnið efni sé fyrst og fremst notað í tiltölulega stórum til meðalstórum verkum, þar sem allt eftirlit sé mun erfiðara í smærri verkum. Almennt séð eru kröfurnar

strangar þar sem reynslan af endurunnu efni í mannvirkjagerð er lítil. Heimilt er að slaka á kröfunum ef unnt er að sýna fram á að not tiltekins efnis í tilteknu verki séu skaðlaus, að undangnum prófunum.

2.1.3 Endurunninn steypa í vegagerð – reynsla

Þó að endurunninn steypa hafi reynst vel sem fylliefni í nýja steypu hefur hún fyrst og fremst verið notuð í uppfyllingar og vegagerð, bæði í efri og neðri burðarlög.

2.1.3.1 „Lahti Motorway Load bearing Structures“ – Finnland

Í framhaldi af skattlagningu byggingarúrgangs, sem tók gildi árið 1998 í Finnlandi, hefur notkun á endurunninni steypu vaxið ört þar í landi. Um 350 þúsund tonn eru framleidd árlega, sem í langflestum tilfellum eru notuð í efri og neðri burðarlög vega. Endurunninn steypa er brotin niður í 0–50 mm stærðir og sett á markað undir heitinu; „Betoroc crush“. Vegna „self-cementing“-eiginleika hefur reynslan sýnt að burðarlög verða sterkari en þegar notuð eru venjuleg steinefni, og einkum hefur verið sýnt að hægt er að minnka þykkt burðarlaga um allt að 40%.

Árið 1998 var gerður 2 km langur tilraunakafli á fjögurra akreina hraðbraut nálægt Lahti. Um 20 þúsund tonn endurunninnar steypu voru notuð sem efra burðarlag beint undir malbikið. Markmiðið var m.a. að auka upprunalegan styrk, sem var 300 MPa, í 400 MPa. Styrkurinn sem mældist í maí 2000 var hinsvegar 689 MPa og búast má við að styrkurinn eigi enn eftir að aukast. Þetta mun hafa í för með sér betri endingu vegarkafans.

2.1.3.2 Reynsluvegarkafli – Fornebu, Osló, Noregi

Í tengslum við lokun og endur-skipulagningu gamla flugvallarsvæðisins á Fornebu í Osló hefur verið lagður 210 m langur tilraunavegarkafli, mynd 2.1.1. Endurunninn steypa, eða steypa blönduð endurunnu malbiki í mismunandi hlutföllum, er notuð í burðarlög. Einnig eru notuð hefðbundin steinefni. Kortlögð verður umferð vörubíla sem keyra um svæðið og álag á burðarlögin metið.



Mynd 2.1.1.
Tilraunavegarkafli á
Fornebu í Osló, Noregi.

2.1.3.3 Spítali í Þrándheimi, niðurrif og endurvinnsla – Noregi

Á næstu tíu árum verður unnið við að rífa niður borgarspítalann í Þrándheimi. Samhliða því verður unnið að byggingu nýs spítala á sama stað.

Starfsemi spítalans verður haldið áfram á tímabilinu. Áætlað er að um 100 þúsund tonn af BÚ myndist. Vegna hárra gjalda við að keyra í burtu og farga byggingarúrgangi er markmiðið að endurvinna meira en 90% af öllu efni sem fellur til. Ætlað er að meira en 80% af þyngd þess efnis sem fellur til verði steypa og múrsteinar. Í þessu sambandi felst mikil áskorun í því að undirbúa og þróa aðferðir, kerfi og endurvinnsluleiðir til að ná settu markmiði. Tilraunaverkefni sem hefur verið hrundið af stað lofar góðu.

2.2. Endurunnið efni notað í steinsteypu

2.2.1 Kröfur og reglugerðir

Við þróun á sameiginlegum evrópskum fylliefna- og steypustöðlum (EN 12620 og EN 206) var upprunalega markmiðið að þessir staðlar myndu einnig ná til endurunnins byggingarefnis (*recycled materials*). Þegar vinnsla við staðlana var á lokastigi (1998) þurftu menn að horfast í augu við að ekki væri unnt að hafa endurunnið efni með vegna margbreytileika efnisins.

Þess vegna hefur verið þörf á að rannsaka sérstaklega, í hverju landi fyrir sig, endurinna steypu sem fylliefni í nýja steypu.

Nokkur Evrópulönd, m.a. Holland, Danmörk, Svíþjóð, Noregur og Þýskaland, hafa þróað innlendar reglugerðir um notkun á endurunninni steypu í nýja steypu. Þessar reglugerðir eru hinsvegar ekki samræmdar, hvorki með tilliti til nafngifta né krafna.

Þýskaland

Árið 1998 voru engar þýskar reglugerðir til um notkun endurunnins fylliefnis í steinsteypu. Leyfi þurfti frá byggingarfulltrúum og DIBt (þýska tækni-stofnunin) fyrir notkun þessa efnis í steypu. Þýska rannsóknarráðuneytið setti því af stað rannsóknarverkefni nefnt „Endurvinnsla byggingarefnis“ (*Baustoffkreislauf im Massivbau, BiM*) í þeim tilgangi að bæta við þýska byggingarstaðalinn, DIN 1045, reglum um notkun á endurunninni steypu sem fylliefni (Grübl & Rüh, 1998). Samkvæmt þeim er leyfilegt án nokkurra takmarkana að nota fylliefni sem er endurunnið úr steypu í innsteypu en mæla þarf alkalívirgni efnisins ef nota á fylliefnið í steypu utanhúss eða í steypu sem á að hindra vatnsrennsli eða verður fyrir áhrifum efnahvarfa, tafla 2.2.1. Þessar takmarkanir eru óháðar því hvort notað er sérstakt sement eða hvort slíkt hefur verið eða verður notað. Leyfilegt er að nota allt að 5% (af heildarmassa fylliefnis) af endurunnu fylliefni í járnþenta steypu.

Tafla 2.2.1. Kröfur varðandi endurunið efni notað í steinsteypu í Þýskalandi.

Notkun	Takmarkanir
Innanhúss	Engar
Útanhúss – almennt	Efnið má ekki vera alkalívirkt
Vatnsfráhrindandi	
Mótstaða gegn efnahvörfum	

Þær kröfur sem gerðar eru til steypu eru óháðar því hvort notað er endurunið fylliefni eða ekki. Mæla þarf lífrænt innihald, þurra rúmþyngd og vatnsdrægni (10 mín. og 24 klst.) steypu sem gerð er með endurunnu fylliefni. Ekki eru gerðar fastar kröfur um einása brotstyrk steypu með endurunnu fylliefni heldur eru gefnar verklagsreglur fyrir framleiðsluferlið.

Gefnar eru leiðbeiningar um vinnslu á endurunnu efni þannig að eiginleikar þess verði eins og best verður á kosið (gerð brjóta og fjöldi brotþrepa). Lögð er áhersla á mikilvægi þess að velja eingöngu gæðaeefni til endurvinnslu. Þær kröfur sem gerðar eru til endurunnins fylliefnis eru allar þær sömu og gerðar eru til hefðbundins fylliefnis og að auki eru gerðar kröfur um samsetningu (*compound*), s.s. kornastærð, berggerð og lífrænt innihald, þurra rúmþyngd, vatnsdrægni og efnainnihald, s.s. sýrustig, leiðni, klór, sulfat, arsen, blý, kadmíum, króm, kopar, nikkell, merkúr og sink.

Noregur

Í skýrslu frá Steinsteypufélagi Noregs (Norsk Betongforening, 1999) er gert ráð fyrir að allt að 5% endurunninnar steypu megi nota í fylliefnastærðir 0–4 mm og 4–32 mm án nokkurra sérstakra ráðstafana. Fyrir steipt mannvirki þar sem gerðar eru sérstakar kröfur varðandi vatnsinnihald, frostþol eða klóríðmótstöðu þarf að kanna viðeigandi endurunið steypuefni sérstaklega í hverju tilfelli fyrir sig. Líta ber á endurunið efni sem alkalívirkt efni ef ekki er sýnt fram á annað.

Árið 1994 gaf RILEM (*International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, System and Structures*) út leiðbeiningar vegna endurunnins fylliefnis, > 4 mm, til nota í steinsteypu. Gert er ráð fyrir að fínefnið (< 4 mm) sé hefðbundið.

Endurunið fylliefni er flokkað í þrennt (sjá líka töflu 2.2.2):

1. Efni unnið úr múrsteinum.
2. Efni unnið úr steinsteypu.
3. Efni sem er blanda af endurunnu fylliefni og náttúrulegu steinefni (a.m.k. 80% af náttúrulegu steinefni og ekki meira en 10% af efni sem er unnið úr múrsteinum).

Tafla 2.2.2. Flokkun endurunnins fylliefnis í steypu, % eru massahlutföll.

Kröfur	Fl. 1 ^a	Fl. 2 ^a	Fl. 3 ^a	Prófunaraðferð
Lágmarks kornarúþyngd ($\frac{kg}{m^3}$)	1500	2000	2400	ISO 6783 & 7033
Hámarks vatnsdrægni (%)	20	10	3	ISO 6783 & 7033
Hámark efnis með SSD < 2200 $\frac{kg}{m^3}$ (%)	–	10	10	ASTM C123
Hámark efnis með SSD < 1800 $\frac{kg}{m^3}$ (%) ^b	10	1	1	ASTM C123
Hámark efnis með SSD < 1000 $\frac{kg}{m^3}$ (%)	1	0,5	0,5	ASTM C123
Hámark aðskotaefnis (málmar, gler, bik, mjúkt eða lint efni) (%)	5	1	1	Sjónrænt mat
Hámark málma (%)	1	1	1	Sjónrænt mat
Hámark lífræns efnis (%)	1	0,5	0,5	EN 933
Hámark fínefnis (< 0,063 mm) (%)	3	2	2	EN 933-1
Hámark sands (< 4 mm) (%)	5	5	5	EN 933-1

a: Flokkur 1, 2 eða 3, sbr. skilgreiningu í texta.

b: Vatnsmettað og yfirborðsþurr (water saturated surface dry condition).

c: Vatnsleysanlegt súlfat er reiknað sem SO₃.

SSD: Mettað en yfirborðsþurr (saturated surface dry).

Gerðar eru kröfur um kornastærðardreifingu, styrk, kornalögun, slitstyrk, járn- og vanadíuminnihald, „pop-out“-tilhneigingu, innihald þenjanlegra leirsteinda og frostþol að því tilskildu að gerðar séu kröfur um þessa eiginleika í viðkomandi landsstöðlum eða CEN-stöðlum.

Endurinnið fylliefni má ekki innihalda neitt sem leiðir til þess að hörðnun steypunnar minnki um meira en 15% miðað við það sem gerist hjá sambærilegri steypu sem inniheldur eingöngu náttúrulegt steinefni.

Til viðbótar þessum kröfum þarf að taka tillit til þeirra takmarkana sem gerðar eru um mengun af völdum þungmálma, útskolunar og geislavirkni í hverju landi fyrir sig.

Not á endurunu efni < 4 mm eru takmörkuð. Helstu ástæður þess eru:

- Endurinnið fínefni er gjarnan mengað og bæði vantar aðferðir til prófunar og kröfur til að flokka þetta efni. Frekari rannsókna er þörf.
- Ekki eru til nægar upplýsingar um áhrif endurunnins fínefnis á endingu og styrk steypu. Frekari rannsókna er þörf.
- Viðeigandi aðferð vantar til að prófa styrk endurunnins fínefnis.
- Traust aðferð til að prófa alkalívirgni endurunnins fínefnis er ekki til.
- Vandamál við framleiðslu hafa komið upp þegar endurinnið fínefni er notað.

2.2.2 Reynslan í rannsóknarstofu

Mörg dæmi eru um heimildir og vísindagreinar (Sagoe-Crentsil o.fl., 2001, Brown & Taylor, 2001 og Karlson, 2000) sem lýsa reynslu við að blanda mismunandi hlutföllum af endurunninni steypu í nýja steypu. Rannsakaðir eru eiginleikar ferskrar steypu, ending og ýmis önnur atriði sem tengjast almennum steypurannsóknum.

Barra og Vázquez (1998) segja frá niðurstöðum rannsóknar á því hvaða áhrif steinefni, sem er endurunnið úr steypu, hefur á eiginleika ferskrar steypu. Höfundar telja að ákjósanlegast sé að nota steinefni endurunnið úr steypu sem fylliefni í nýja steypu til að ná fram lokaðri hringrás steypu.

Niðurstöður Barra og Vázquez sýna að vinnsluaðferðir við endurvinnsluna og holrýmd gömlu steypunnar hafa áhrif á eiginleika fersku steypunnar. Styrkur steypu með endurunnu steinefni er sambærilegur og hjá samskonar steypu með hefðbundnu hráefni en auka þarf magn sements, t.d. um 7,2% hjá 40 MPa steypu. Fjaðurstuðull var 20% lægri í endurunnu steinefni miðað við hefðbundið steinefni. Fylliefni úr múrsteinum fór ekki að lækka styrk steypunnar fyrr en hlutfallið var orðið 40%.

Kikuchi o.fl. (1998) greindu frá niðurstöðum líftímagreiningar (LCA) sem gerð var á endurunnu steinefni. Efnið var notað sem fylliefni í steypu. Við endurvinnslu er það einkum þrennt sem skiptir máli: að gæði efnisins séu tryggð, að umhverfisáhrifum sé haldið í lágmarki og kostnaður vegna framkvæmdanna. Rannsókuð voru gæði endurunnins steinefnis, hagkvæmni af endurvinnslu úrgangs úr steypu, framleiðsluferli endurunnins steinefnis og gæði steypu sem gerð er með endurunnu fylliefni.

Niðurstöður Kikuchi o.fl. (1998) leiddu m.a. í ljós að eiginleikar upphaflegu endurunnu steypunnar, einkum sementsefjan, hafa afgerandi áhrif á eiginleika endurunna efnisins. Ísogseiginleikar (*absorption*), ACV gildi (*aggregate crushing value*), sem gæti útlagst sem brotmótstaða á íslensku, og veðrunarþol (*soundness*) ráða mestu um eiginleika endurunna steinefnisins, einkum ísogseiginleikar. Ef fylliefnið í steypu úr endurunnu steinefni er meira en einnar gerðar má ákvarða eiginleika steypunnar nokkuð nákvæmlega með því að leggja saman eiginleika hveirrar gerðar af fylliefni í réttum hlutföllum.

Maultzsch og Mellmann (1998) skýra frá athugunum sem gerðar voru á nýtingu BÚ í steypu og áhrifum á eiginleika hennar. Endurunna efnið var að meginhluta gömul steypa en áhrif annarra efna voru einnig könnuð. Óhreinindi, s.s. timbur, plast, pappír o.fl., voru hverfandi. Magn brennisteinssambanda og klórs voru innan hættumarka. Niðurstöðurnar sýndu m.a. að vatnsdrægni og eðlismassi eru þeir eiginleikar endurunna steinefnisins sem mestu máli skipta ef nota á efnið í steypu. Endurunnið steinefni hefur áhrif á fjaðurstuðul, skrið og rýrnun steypunnar.

Vegna mikils magns af steypu sem fellur til í tengslum við stærri jarðskjálfta voru gerðar rannsóknir til að kanna hvort hagkvæmt væri að nota niðurbrotna steypu aftur í nýja steypu (Topçu, 1997). Steypa (16 MPa) var brotin niður og blandað í mismunandi hlutföllum (0, 30, 50, 70 og 100%) í nýja ferska steypu. Niðurstöður sýndu að með auknu íblöndunarhlutfalli lækkaði eðlisþyngd, þjálmi, örbylgjuhraði (*ultrasonic velocity*) og þrýstistyrkur.

Olorunsogo og Padayachee (2002) birtu niðurstöður mælinga á nokkrum eiginleikum steypu sem gerð var með 0%, 50% og 100% endurunnu fylliefni.

Mældir voru eiginleikar sem notaðir eru til að meta endingu, þ.á m. leiðni, súrefnisupptaka og vatnsdrægni eftir 3, 7, 28 og 56 daga. Ending steypunnar minnkaði með auknu hlutfalli endurunnins efnis en hinsvegar jukust gæðin með vaxandi aldri. Olorunsogo og Padayachee skýrðu lakari endingu steypu sem gerð var með endurunnu fylliefni með aukinni lekt og rakadrægni fylliefnisins en sprungur myndast í því við vinnslu.

Ajdukiewicz og Kliszczewicz (2002) skoðuðu ýmsa eiginleika steypu sem gerð er með fylliefni endurunnu úr miðlungs- til hástyrkleikasteypu en fylliefni upphaflegu steypunnar var úr graníti og basalti. Þeir veltu því fyrir sér hvort hægt væri að fá hágæðasteypu með fylliefni sem er unnið úr miðlungs- til hástyrkleikasteypu og hvaða áhrif kísilryk og þjáliefni hefðu á eiginleika slíkrar steypu. Þeir telja að það að nota gamla steypu sem fylliefni í nýja steypu sé umhverfisvænt að því leyti að ekki þarf að farga gömlu steypunni og spara má nýtt fylliefni. Höfundar vildu einnig fá svar við þeirri spurningu hvort slík endurnýting hefði líka hagræna kosti og þá fyrst og fremst vegna þess að bindimöguleikar sements eru ekki endilega fullnýttir í steypu: er hægt að nýta þá betur í endurunnu fylliefni með íblöndunarefnum?

Niðurstöður sýndu að eiginleikar gömlu steypunnar hafa marktæk áhrif á eiginleika nýju steypunnar og mögulegt er að fá nýja steypu sem hefur hærri einása brotstyrk en gamla steypan. Vinnslueiginleikar steypu með endurunnu fylliefni eru sambærilegir því sem gerist í venjulegri steypu, þ.e. með hefðbundnu steinefni sem fylliefni. Þó þarf að leiðrétta fyrir vatnspörf steypunnar en slíkt hefur óveruleg áhrif á vatns-/sementstölu steypunnar. Mælt er með því að nota náttúrulegan sand, 0–2 mm, fremur en endurunninn sand. Notkun íblöndunarefna, s.s. kísilryks og þjáliefna, bætir eiginleika steypunnar.

Niðurstöður mælinga á steypu með fylliefni endurunnu úr miðlungs- til hástyrkleikasteypu með fylliefni úr graníti og basalti sýndu að:

- Einása brotstyrkur, f_{cm28} , mældist yfir 80 MPa í steypu með fylliefni unnu úr steypu sem hafði 60 MPa brotstyrk.
- Munurinn í togþoli var um 10%, steypa með náttúrulegu fylliefni hafði hærra togþol en steypa með endurunnu fylliefni. Þessi munur er þó minni en sem nemur áhrifum íblöndunarefna.
- Bindistyrkur minnkaði um 20% með notkun endurunnins fylliefnis.
- Frostþol steypu með endurunnu fylliefni var betra en frostþol steypu með náttúrulegu fylliefni.
- Til lengri tíma litið má búast við meiri rýrnun og örlítið meira skriði í steypu með endurunnu fylliefni en í steypu með náttúrulegu fylliefni.

Það er ályktun höfunda að óhætt sé að mæla með því að endurvinnna miðlungs- til hástyrkleikasteypu með fylliefni úr graníti eða basalti í nýja steypu. Þeir mæla þó með því að sandur og fínefni, 0–2 mm, sé úr náttúrulegu efni en ekki endurunnu efni.

Gómez-Soberón (2002) birti niðurstöður tilrauna sem gerðar voru á steypu með fylliefni úr endurunninni steypu. Niðurstöður mælinga á tæknilegum eiginleikum voru notaðar til að meta poruráðius, krítískt poruhlutfall og yfirborðsflatarmál steypunnar eftir 7, 28 og 90 daga. Niðurstöður sýndu að poruhlutfall er umtalsvert hærra í steypu með fylliefni endurrunnu úr steypu miðað við steypu með náttúrulegu fylliefni, en það minnkar með vaxandi aldri steypunnar.

2.2.3 Endurunnin steypa í steipt mannvirki – reynsla

Á undanförunum árum hefur mörgum tilraunaverkefnum verið hrundið af stað þar sem endurunnin steypa hefur verið notuð í steypu í mismunandi mannvirki. Í þessum kafla verða nokkrum þeirra gerð nákvæmari skil.

2.2.3.1 „Rijkswaterstaat Demonstration Projects“ – Holland

Hollenska vegagerðin hóf árið 1988 verkefni til að fá reynslu af endurnotkun á steypu í nýja steypu. 20% af grófu steinefni var skipt út og í stað þeirra notað endurrunnið efni. Frá 1988 til 1992 voru steipt nokkur mannvirki.

- Um 500 m³ af steypu með endurrunnu efni notaðir í brú (1988), mynd 2.2.1.
- Um 2000 m³ af steypu með endurrunnu efni voru notaðir í neðansjávarstíflu (1988), og um 3000 m³ í svipað mannvirki ári síðar (1989).
- Um 11 þúsund m³ af steypu með endurrunnu efni voru notaðir í brú (1990).



Mynd 2.2.1.

Steinsteipt brú í Hollandi, þar sem 20% af grófu steinefni er skipt út fyrir endurrunna steypu.

(Mynd: European Thematic Network on the Use of Recycled Aggregates in the Construction Industry)

Í ljósi jákvæðrar reynslu af þessum verkefnum ákvað hollenska vegagerðin að öll mannvirki á hennar vegum, byggð eftir 1991, skuli innihalda 20% af endurunninni steypu. Undanskildar eru forspenntar einingar.

2.2.3.2 Umhverfisbygging, Rannsóknastofnun breska byggingariðnaðarins

Á árunum 1995–96 var byggð ný umhverfisbygging hjá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins í Bretlandi (BRE), mynd 2.2.2. Þetta var í fyrsta skipti sem steypa með endurrunnu efni var notuð í steipt mannvirki í Bretlandi. Endurrunnið steypuefni var fengið við niðurrif 12 hæða skrifstofubyggingar í London. Endurrunnu efni var blandað í um 1.500 m³ af steypu hússins.



Mynd 2.2.2.

Umhverfisbygging hjá BRE í Bretlandi þar sem hluti steypunnar inniheldur endurunnið efni.

(Mynd: European Thematic Network on the Use of Recycled Aggregates in the Construction Industry)

2.2.3.3 „Gjenbrukshus“ í Osló, Noregi

Í tengslum við niðurrif Ríkisspítalans í Osló, mynd 2.2.3, hefur verið ákveðið að reisa fjögur þúsund fermetra tilraunahús sem mun innihalda 45 íbúðir og 2–3 atvinnurými. Við byggingu á þessu svokallaða endurvinnsluhúsi, „gjenbruks-hus“, verður bæði notuð endurunnin steypa og endurnotaður byggingar-úrgangur, s.s. klósett, hurðir, gluggar o.s.frv. Bygging hússins verður rannsóknar- og þróunarverkefni og er áætlað að það verði tilbúið árið 2004. Markmið verkefnisins eru m.a. að byggja samkeppnishæft og umhverfisvænt hús, nota sem mest af endurunnu og endurnotuðu efni, sýna fram á kostnað og vinnsluaðferðir tengdar endurvinnslu og endurnotkun og stuðla almennt að aukinni endurnýtingu og endurvinnslu.



Mynd 2.2.3.

Niðurrif gamla Ríkis-spítalans í Osló.
(Mynd: Teknisk Ukeblad)

2.2.3.4 „The Delftse Zoom Housing Project“ – Holland

Hollenska steinsteypufélagið var meðal annarra frumkvöðull að verkefni þar sem leitast var við að framleiða steypu eingöngu með endurunnu fylliefni, þ. e. að lágmarki 50% endurunnin steypa og afgangurinn endurunnir múrsteinar. Byggð voru 272 íbúðarhús með forsteyptum einingum, mynd 2.2.4. Þetta reyndist vel framkvæmanlegt og var mikilvægt innlegg í þróun þessara mála í Hollandi.



Mynd 2.2.4.

Einingahús í „The Delftse Zoom Housing Project“ í Hollandi.

(Mynd: European Thematic Network on the Use of Recycled Aggregates in the Construction Industry)

3. ÍSLENSKAR PRÓFANIR

3.1 Hráefni – Endurunnin steypa

3.2.1 Inngangur

Í tilefni af því að til stóð að rífa 1.772 m² byggingu við Höfðatún 2, myndir 3.1.1–3.1.4, þar sem m.a. fyrirtækið Sögin var lengi til húsa, höfðum við vorið 2001 samband við Eykt ehf. sem var falið það verk að sjá um niðurrif á húsinu. Fórum við þess á leit við Eykt að fá efni úr steypu hússins til rannsóknar og var því vel tekið. Þannig fékk verkefnið til umráða nokkra stóra steypuklumpa sem komið var fyrir í gámi.



Myndir 3.1.1–3.1.4. Myndirnar sýna upphaf niðurrifs Höfðatúns 2 (ljósm. Helgi Hauksson)

Einnig var haft samband við Eyjólf Bjarnason hjá Háfelli ehf. um möguleika á að brjóta efnið niður með kjaftbrjóti. Háfellsmenn tóku vel í það og efnið var brotið á lóð Háfells. Helmingur efnisins var brotinn einu sinni í kjaftbrjóti en hinn helmingurinn var brotinn tvisvar í kjaftbrjóti.

Efnið var geymt í fjórum fiskikerum utanhúss á lóð Rb þar til það var unnið í prófanir á rannsóknastofu.

3.1.2 Þrýstipól og loftdreifing steinsteypu

Sýni af steypunni úr Söginni voru prófuð á rannsóknastofu Rb, bæði í hefðbundnum vegtækniþrófum á fyllingarefni og í steypusýni. Til að mæla þrýstipól endurunninnar steypu voru söguð og slípuð 13 sýni í teninga, 4–5 cm á kant, en stærri sýni náðust ekki. Ljóst er, sakir smæðar sýna og stórra fylliefnakorna, að dreifing niðurstaðna er mikil, en meðaltalsþrýstipól mældist 38,4 MPa, sjá töflu 3.1.1. Við mælingarnar var stuðst við aðferð sem lýst er í staðlinum ÍST 10 (1971).

Tafla 3.1.1. Þrýstipól steypu úr Söginni

Sýni nr.	Þrýstipól MPa	L mm	B mm	H mm
1	42,6	50	50	50
2	33,9	51	50	50
3	31,7	51	51	50
4	50,6	51	50	50
5	25,5	50	50	50
6	27,6	41	40	40
7	32,5	40	40	40
8	29,2	41	40	40
9	52,5	40	41	40
10	39,6	40	40	40
11	48,4	41	41	40
12	34,9	41	40	40
13	50,5	41	38	40

Loftdreifing var mæld skv. staðli ASTM C 457-82 (ASTM, 1982), sjá niðurstöður í töflu 3.1.2, og reyndist yfirborð loftbólna vera 26 mm^{-1} , loftmagnið var 1,7% og fjarlægðarstuðullinn var 0,31 mm. Þannig er ljóst að steypa úr Söginni uppfyllir ekki algengar kröfur sem gerðar eru til steypu í dag.

Tafla 3.1.2. Loftdreifing steypunnar úr Söginni

	Mældar niðurstöður úr endurunninni steypu	Algengar kröfur fyrir nýja steypu
Yfirborð loftbólna	26 mm ⁻¹	> 25 mm ⁻¹
Loft	1,7 %	Veðrunarþolin útisteypa skal hafa a.m.k. 5% loft. Sjá ÍST 14; Steinsteypuvirki
Fjarlægðarstuðull	0,31 mm	< 0,20 mm

3.2 Vegtækniprófanir með tilliti til burðarlagsefna

3.2.1 Inngangur

Langmest af steypu úr niðurrifi er endurnýtt í vegfyllingar. Það er m.a. reynsla úr fyrri verkefnum að prófanir á þessum efnum á rannsóknastofu hafa sýnt lélegri niðurstöður en ef efni eru prófuð í raunveruleikanum (tilraunavegarköflum), sjá kafla 2. Þrátt fyrir það þótti rétt að gera þessar prófanir til samanburðar við erlendar rannsóknir.

Sýni af steypunni úr Söginni voru prófuð á rannsóknastofu Rb í hefðbundnum vegtækniprófum á fyllingarefni. Þessar prófanir eru: raki, kornadreifing, proctorpróf, CBR-próf, kúlnakvarnarpróf, kornarúmþyngd, vatnsísog, burðar-þol í stórum stálhólk, berggreining, kleyfnistuðull (*flakiness index*), Bg-stuðull, LA-próf og frostþolspróf (Nordtest).

3.2.2 Lýsing prófana og niðurstöður

3.2.2.1 Kornastærðardreifing

Kornadreifing sýnis var ákveðin með sigtun skv. EN 933-2:1995 (European Standard, 1995) þar sem sýnið er fyrst votsigtað en síðan þurrkað og sigtað í sigtívél.

Tafla 3.2.1 sýnir niðurstöður mælinga á sáldurferlum efnisins. Sáldurferlar fyrir efni finna en 19 og 16 mm voru fengnir eftir að grófara efni hafði verið sigtað frá (ekki malað).

Tafla 3.2.1 Sáldurferlar

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

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

3.2.2.2 Raki

Prófað skv. ASTM C-566 (ASTM, 1997) þar sem fundið er þyngdarhlutfall vatns í sýni og þurrks efnis eftir þurrkun við 110°C.

Raki í þessum sýnum var 13%.

3.2.2.3 Proctor- og CBR-próf

Standard proctorpróf var gert skv. ASTM D-698 (ASTM, 1998). Þetta próf er gert til að ákveða hvaða vatnsinnihald er best til að fá sem besta þjöppun á steinefni allt að 19 mm gróft. Sýni er þjappað í tveggja lítra sívalning í þremur lögum. Hvert lag þjappast 50 sinnum með 2,63 kg lóði sem fellur úr 30 cm hæð. Prófnidurstöður eru samsettar af niðurstöðum úr fimm sýnum, þar sem vatnsinnihald er aukið um 1–2% milli sýna.

CBR-próf (California Bearing ratio) gefur upplýsingar um burðargetu efnisins. Prófað er skv. aðferð ASTM D-1883 (ASTM, 1994). Í þessu verkefni var prófið gert á steinefni minna en 19 mm, þar sem sýnið var þjappað með standard proctoraðferð inn í CBR-sívalninga.

Niðurstöður þjöppunar með proctor- og CBR-prófi eru sýndar í töflu 3.2.2.

Tafla 3.2.2 Niðurstöður proctor- og CBR-prófa

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

3.2.2.4 Kúlnakvarnarpróf

Prófið var gert samkvæmt ÍST EN 1097-9. Prófið felst í því að mæla niðurbrot sýnis sem snúið er í stálhólk með stálkúlum og vatni í ákveðinn tíma og fjölda snúninga. Þetta á að samsvara því sliti sem grófari steinefni verða fyrir í malbiksslitlagi vegna nagladekkjanotkunar.

Sýnin í kúlnakvörn voru samsett þannig að 35% voru á stærðarbilinu 14–16 mm og 65% á bilinu 11,2–14 mm. Niðurbrot reyndist vera 48%.

3.2.2.5 Burðarþol í stórum stálhólk

Sýni er sett í hringlaga stálhólk, 50 cm í þvermál og á hæð. Efnið er þjappað í þremur lögum og er sýnið fullpakkað um 40 cm á hæð. Prófið er framkvæmt skv. lýsingu Jóns Skúlasonar (1985). E-gildi efnisins eru sem hér segir: $E_1 = 1265 \text{ kg/cm}^2$, $E_2 = 3071 \text{ kg/cm}^2$ og hlutfallið $E_2/E_1 = 2,43$.

3.2.2.6 Kornarúmþyngd og vatnsísog

Mælt skv. ISO 6783 (International Standard, 1982) og 7033 (International standard, 1987).

Tafla 3.2.3 sýnir niðurstöður mælinga á kornarúmþyngd og vatnsísogi.

Tafla 3.2.3 Kornarúmþyngd og vatnsísog

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

3.2.2.7 Berggreining

Berggreining var í aðalatriðum gerð skv. Rb-riti nr. 57 (Þorgeir S. Helgason og Guðmundur Guðfinnsson, 1989) og EN 932-3 (European standard, 1996).

Notuð var víðsjá bæði fyrir efni 8–16 mm, en þar voru greind samtals 209 korn, og efni úr kúlnakvarnarpófi, af sitthvorri stærðinni (14–16 og 11,2–14 mm) þar sem greind voru um 170 korn af hvorri stærð. Tafla 3.2.4 sýnir helstu niðurstöður.

Tafla 3.2.4 Berggreining

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

Eins og sést á þessari töflu er heildarsýnið (8–16 mm) með mun meira af steypu en þau sem hafa farið í kúlnakvarnarpróf. Í kúlnakvörminni hefur steypan molnað utan af steinefnakornunum að einhverju leyti. Ekki er vitað um námu eða neitt annað um uppruna fylliefnisins en líklegt er að það sé svokallað Reykjavíkurgrágrýti, sem einkennist af opinni kristalbyggingu og ólivínkristöllum og er ferskt, þétt basalt.

Gæðaflokkun steypunnar skv. hefðbundinni flokkun berggreiningarkerfisins er alls ekki augljós. Veikasti hluti steypunnar er sementsefjan, sem myndi flokkast sem 2. eða 3. flokks efni vegna þess hve mikið hún molnar niður. Hins vegar er sementsefja yfirleitt ekki meiri en um 30% af heildarsýninu og þegar efjan hefur molnað utan af kornunum standa eftir fyrsta flokks fersk basaltkorn sem eru um 70% af heildarsýninu. Berggreining getur sagt til um af hvaða gerð fylliefnakornin eru og þannig gæðaflokkað um 70% steypunnar skv. hefðbundinni aðferð, en að öðru leyti er ekki ráðlegt að nota berggreiningu til gæðaflokkunar, heldur beinar prófanir á efninu í vegi (sjá umfjöllun í kafla 3.2.3).

3.2.2.8 Kornalögun – kleyfnistuðull

Mældur kleyfnistuðull (*flakiness index*) skv. EN 933-3 (European standard, 1996). Kleyfnistuðullinn mældist 10,7%.

3.2.2.9 Frostþol steinefna

Notuð aðferð Nordtest NT-Build 485 (Nordtest Method NT-Build 485, 1998) en þar eru steinefnin sett í 1% NaCl-lausn við mælingu.

Niðurbrot eftir frostþolsprófun reyndist vera 50,7%.

3.2.2.10 Bg-stuðull

Mældur styrkleiki „modified“ Bg-stuðull á „Füller“-kúrfu, þjöppun skv. ASTM D 1557 (ASTM, 1998).

Bg-stuðullinn er 22,2 og efnisraki við þökkun 6%.

3.2.2.11 *LA-próf*

Styrkleikapróf skv. EN 1097-2 (European standard, 1998), svipað ASTM Los Angeles-prófinu. Í Los Angeles-prófinu er mæld mótstaða steinefnis við niðurbrot.

LA-gildið mældist 41,6.

3.2.2.12 *Brothlutfall*

Brothlutfallið er 100%.

3.2.2 Samanburður við kröfur til fylliefna í vegagerð

Erlendis er steypa úr niðurbroti nýtt sem efni í efra eða neðra burðarlag vegna. Hér á landi gilda kröfur Alverks 95 (Vegagerðin, 1995) þar sem ekki er kveðið sérstaklega á um annað í útboðsgögnum. Hópur á vegum Efnisgæðanefndar BUSL gaf út skýrslu um tillögur um breytingar á Alverki (Gunnar Bjarnason o.fl., 2001) og er hér miðað við þær tillögur þegar niðurstöður prófananna eru bornar saman við kröfur til vegagerðarefna.

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

- Kornastærð: fínefni sé minna en 5% í efra burðarlagi og minna en 7% í neðra burðarlagi.
- Berggreining þar sem metið er magn 3. flokks efnis: 7–15%.
- Styrkleiki skv. mælingu á Bg-stuðli sé minna en 8–12%.
- LA-gildi sé minna en 20–30%.
- Burðarþol E_2/E_1 á bilinu 2,0–3,5.
- Frostniðurbrot sé ekki meira en 9–19%.
- Kleyfnistuðull sé á bilinu 20–35%.
- Brothlutfall þarf að vera 30–50%, en þar sem við erum með malað efni er þetta í raun 90–100%.

Kröfur Alverks 95:

Tafla 3.2.5 Neðra burðarlag

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

Tafla 3.2.6 Efra burðarlag

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

Tafla 3.2.7 Samanburður á niðurstöðum við kröfur

Prófun	Niðurstaða	Krafa
Kornastærðardreifing, finefnismagn	2–5	5–7 max
Berggreining – magn í 3. flokki (%)	0–30	7–15 max.
Burðarþol í stórum stálhólk, E_2/E_1	2,43	2–3,5 max
Kleyfnistuðull, „flakiness index“	10,7	20–35 max
Frostþol (NT-Build 485), niðurbrot (%)	50,7	9–19 max
Bg-stuðull (%)	22,2	8–12 max
LA-gildi (%)	41,6	20–30 max
CBR-gildið við 14% raka	72	20–75 min
Brothlutfall metið, %	100	30–50 min

Varðandi kornastærðardreifingu er finefnið rétt á mörkunum, eða á bilinu 2–5%, sem þýðir að efnið er nothæft fyrir alla vegflokka í efra og neðra burðarlag. Þess ber að geta að finefnismagnið er mjög svo háð vinnsluáferð sem notuð er hverju sinni við mulning á steypunni og því ekki hægt að draga ályktanir almennt um finefnismagn endurunninnar steypu.

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

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

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

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

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

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

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

Varðandi CBR-próf gerir staðallinn (ASTM D-1883) ráð fyrir því að miða skuli við CBR-gildið við 2,54 mm þegar niðurstöður eru skoðaðar. Ef CBR-gildið við 5,08 mm er hins vegar hærra en við 2,54 mm, eins og hér kemur fram, þá skal endurtaka prófið til að sannreyna það. Ef niðurstöður eru óbreyttar er gildið við 5,08 mm notað. Hérlandis er reynslan sú að CBR-gildið við 5,08 mm er alltaf hærra og hefur það þá verið notað, án þess að endurtaka prófið og því er það gert hér líka. Niðurstöður CBR-prófsins í töflu 3.2.2. sýna að CBR-gildið er mjög háð rakanum sem efnið er þjappað við. Ef þjappað er við 14% raka, stenst efnið kröfur til efnis í efra burðarlag fyrir vegflokka C–D. Það stenst einnig kröfur til efnis í neðra burðarlag fyrir vegflokka C–D í öllum tilvikum og alla vegflokka ef þjappað er við 12,2 eða 14% rakastig.

Almennt má segja við mat á niðurstöðum úr vegtæknilegum prófunum fyrir steypuna, að þær eru í samræmi við niðurstöður annarra (sjá umfjöllun um ALT-MAT í kafla 2.1.2) þar sem kemur í ljós að steypa brotnar mikið niður í hefðbundnum prófunum á rannsóknastofu. Þar kemur einnig fram að við prófanir á tilraunavegarköflum sem hafa verið gerðir úr endurunninni steypu, eykst styrkur hennar með tímanum vegna endurbindingar sements. Þess vegna er nauðsynlegt að gera tilraunavegarkafli hérlandis með endurunninni steypu til þess að fá úr því skorið hvort unnt sé að nota þetta efni sem vegagerðarefni.

Því er við að bæta að steypa úr Söginni hefur tiltölulega lítinn styrk og er ekki með viðunandi loftkerfi skv. reglugerðum sem gilda nú. Þess er að vænta að hús, sem steyppt eru eftir að reglur voru settar um lágmarksstyrk og veðrunarþol steypu, gefi af sér mun betri endurrunnið efni en hér var prófað. Það er því mikilvægt að gera viðeigandi prófanir í hverju tilviki.

3.3 Prófsteypur úr endurunninni steypu

Ákveðið var að gera fjórar steypublöndur með mismiklu magni endurunninna fylliefna blönduðum saman við fylliefni frá Björgun hf. Steypublöndurnar yrðu að öðru leyti allar samsettar á svipaðan hátt. Stefnt var að því að gera steypublöndur sem væru líkar algengri útveggjasteypu hvað varðar sementsmagn, loftinnihald, og v/s-hlutfall. Í allar fjórar blöndurnar voru notuð u.þ.b. 315 kg/m^3 af VP-sementi og miðað var við að loftinnihald yrði nálægt 6,5% og v/s-hlutfall 0,52 í öllum blöndunum. Svipað magn og sama gerð íblendiefna var notað í allar steypublöndurnar. Meginfrávikin í steypublöndunum voru því mismikið magn endurunninna fylliefna.

Strax í byrjun var gengið út frá því að ekki yrðu notuð endurunnin fylliefni með kornastærð minni en 4 mm. Jafnframt var miðað við að hámarks kornastærð fylliefna væri 22 mm, bæði endurunnin fylliefni og/eða fylliefni frá Björgun hf. Kornadreifing fylliefna var miðuð við að sem næst 45% efnis væri minna en 4 mm, sem þýddi að hlutfall endurunninna fylliefna gæti aldrei orðið hærra en 55%. Til að fá kornadreifingu allra fylliefnakúrfanna sem líkasta voru fylliefnin sigtuð í mismunandi stærðarflokka. Endurunnin steypa var möluð og sigtuð í kornastærðir 4–22, og 8–22 mm, Björgunarsandur í kornastærðir 0–4, og 0–8 mm, auk þess sem notuð var Björgunarperla í kornastærð 0–22 mm.

Til þess að unnt sé að búa til steypublöndu er nauðsynlegt að mæla kornarúmpýngd, mettvatn, og heildarrakainnihald fylliefna. Áður en mettvatn í endurunu steypunni var mælt hafði hún verið geymd úti í langan tíma og síðan látin liggja í vatni í einn sólarhring og því talin nánast vatnsmettuð. Að öðru leyti voru þessar mælingar framkvæmdar eins og lýst er í staðli ÍST 10.

Steypublöndurnar voru merktar A, B, C og D. Hlutfall endurunninnar steypu í blöndunum var eftirfarandi:

- Blanda A: 51% endurunnin steypa og 49% Björgunarefni
- Blanda B: 30% endurunnin steypa og 70% Björgunarefni
- Blanda C: 15% endurunnin steypa og 85% Björgunarefni
- Blanda D: 0% endurunnin steypa og 100% Björgunarefni

Þegar búið var að steypa fyrstu blönduna (blanda A) kom í ljós að reiknað hafði verið með of háu rakainnihaldi fylliefna og því ljóst að v/s-hlutfall steypunnar var lægra en stefnt hafði verið að. Eftir að heildarvatnsmagn hafði verið leiðrétt reyndist v/s-hlutfallið í blöndu A vera 0,48 í stað 0,52 eins og að hafði verið stefnt. Það var því nauðsynlegt að breyta hönnunarforsendum fyrir hinar steypublöndurnar og lækka v/s-hlutfall þeirra til samræmis við blöndu A.

Undirbúningur fyrir prófsteypunar, þar með talið nauðsynlegar mælingar á fylliefnum, fór fram í byrjun desember 2001, en steyppt var dagana 10.–13. desember 2001.

3.3.1 Mælingar

Á hverri steypublöndu voru gerðar eftirfarandi mælingar:

Mælingar	Mæliaðferðir
Loft og sigmál í ferskri steypu	ÍST EN 12350
V/s-hlutfall reiknað út frá heildarraka og mettvatni fylliefna ásamt viðbótarvatni	
Loftkerfi í harðnaðri steypu	ASTM C-457
Þrýstipól, 28 sólarhringa	EN 12390
Kleyfniþol, 28 sólarhringa	ÍST EN 12390
Fjaðurstuðull, 28 sólarhringa	ISO 6784
Vatnspéttipróf, 28 sólarhringa	ÍST EN 12390
Rýmunarpróf, þriggja mánaða	ASTM C-157
Alkalipróf, 14 sólarhringa	ASTM C-1260
Frostþiðupróf, 56 umferðir	SS 137244

Ýmist var stuðst við þá staðla sem vitnað er í eða þeir notaðir án frávika.

3.3.2 Niðurstöður

3.3.2.1 Loftinnihald í ferskri steypu

Loftinnihald í blöndu A mældist 8,0%, sem er nokkru hærra en stefnt var að. Loftinnihald í blöndum B, C, og D mældist hinsvegar á bilinu 6,0 til 6,7%.

3.3.2.2 V/s-hlutfall

Eins og áður var minnst á reyndist v/s-hlutfall í blöndu A lægra en ætlað var, eða 0,48. Það var því nauðsynlegt að lækka v/s-hlutfall í hinum þremur blöndunum. Í blöndu B var þetta hlutfall 0,50 en 0,49 í blöndum C og D.

3.3.2.3 Loftkerfi í harðnaðri steypu

Í þessu prófi er mælt loftinnihald, fjarlægðarstuðull og yfirborð loftbólna. Tekið skal fram að eigið loft fylliefna er dregið frá heildarlofti og skýrir það að hluta til af hverju loftinnihald mælist lægra í þessu prófi heldur en með þrýstimælingu á ferskri steypu. Loftinnihald mældist 4,0% í blöndu A en 3,5–3,7% í blöndum B, C, og D. Yfirborð loftbólna mældist mjög svipað í öllum blöndunum, eða 25–27 mm⁻¹, og fjarlægðarstuðull á bilinu 0,19–0,23 mm.

3.3.2.4 Þrýstipól

Þrýstipól sýnanna og raunar allar aðrar styrkmælingar urðu nokkuð hærri en upphaflega var gert ráð fyrir vegna þess að v/s-hlutfallið var lægra eins og áður hefur verið greint frá. Meðalþrýstipól blöndu A mældist 41,4 MPa, 43,5 MPa á blöndu B, 49,6 MPa á blöndu C, og 54,6 MPa á blöndu D. Eins og sést á þessum niðurstöðum eykst þrýstipólið eftir því sem hlutfall endurunninna fylliefna minnkar.

3.3.2.5 Kleyfniþol

Kleyfniþol sýnanna fylgir sömu reglu og þrýstipólið, styrkur eykst eftir því sem hlutfall endurunninna fylliefna minnkar. Kleyfniþol blöndu A mældist 3,1 MPa, 3,7 MPa á blöndu B, 4,0 MPa á blöndu C, og 4,3 MPa á blöndu D.

3.3.2.6 *Fjaðurstuðull*

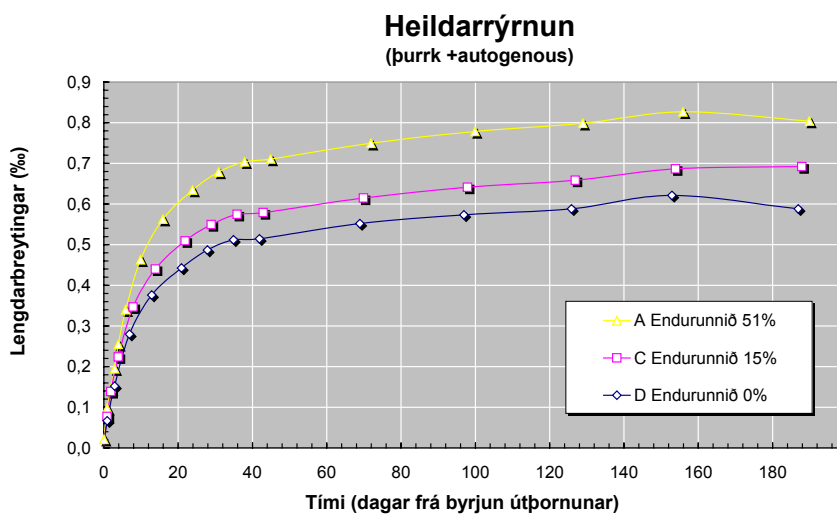
Fjaðurstuðull hækkar sömuleiðis eftir því sem hlutfall endurunninna fylliefna minnkar. Á blöndu A mældist fjaðurstuðullinn 28 GPa, 31 GPa á blöndu B, 35 GPa á blöndu C, og 40 GPa á blöndu D.

3.3.2.7 *Vatnsþéttipróf*

Vatnsþéttipróf er mælikvarði á hvað vatn gengur langt inn í steypuna undir þrýstingi. Mæld er meðal-innþrýstidýpt og einnig mestu toppar. Meðal-innþrýstidýpt vatns var mjög svipuð, eða 4–6 mm í blöndu A (51% endurunnið efni), blöndu C (15% endurunnið efni) og í blöndu D (ekkert endurunnið efni). Í blöndu B var meðal-innþrýstidýptin 3–5 mm. Ekki er marktækur munur milli einstakra sýna.

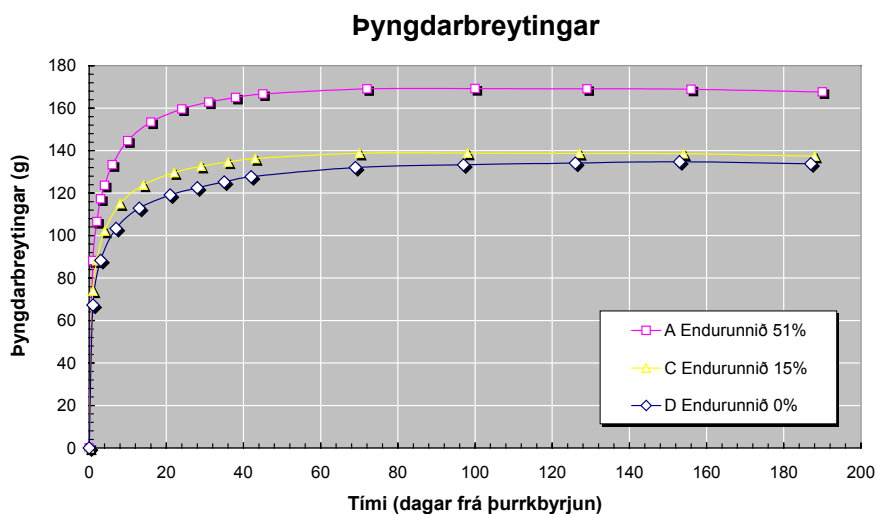
3.3.2.8 *Rýrnunarpróf*

Rýrnun blandna A, C og D var mæld. Þær niðurstöður sem hér eru birtar eru heildarrýrnun, þ.e. rýrnun sem verður vegna uppgufunar vatns úr pórukerfi steypunnar að viðbætti „autogenous“ rýrnun, en það er sú ytri rýrnun sem verður vegna hvörfunar vatns og sements. Fyrsta mæling var framkvæmd 24 tímum eftir blöndun, strax eftir að sýnin voru afformuð, og var mælingum fram haldið í u.þ.b. 200 daga. Eins og vænta mátti eykst rýrnun með auknu hlutfalli endurunninna fylliefna. Eftir 35 sólarhringa mældist rýrnun í blöndu A vera 0,7‰, 0,6‰ í blöndu C og 0,5‰ í blöndu D. Eftir tæpa 200 sólarhringa var rýrnun í blöndu A 0,8‰, 0,7‰ í blöndu C og 0,6‰ í blöndu D. Jafnframt var þyngd sýnanna mæld og var þyngdarbreytingin í samræmi við rýrnun, þ.e. sýnin sem rýrnuðu mest, blanda A, léttist líka mest, síðan blanda C og blanda D léttist minnst. Þetta þýðir það í stuttu máli að eftir því sem endurunnið efni er meira, þeim mun fljótar gefur steypan frá sér vatn, léttist þar af leiðandi fljótar og rýrnar meira. Sýnin hætta að léttast þegar þau eru u.þ.b. 60 daga gömul. Það þýðir þó ekki að vatn sé hætt að gufa upp af sýnum því „karbonatisering“ hefst fljótlega í steypunni og hefur áhrif til þyngingar sýnanna. Eftir u.þ.b. 60 daga vegur því létting sýna vegna uppgufunar vatns og þynging vegna karbonatiseringar jafnmikið. Karbonatisering verður þegar kalk (Ca(OH)_2) úr steypunni gengur í efnasamband við koldíoxíð (CO_2) úr andrúmsloftinu og myndar kalsíumkarbonat (CaCO_3).



Mynd 3.3.1

Heildarrýrnun sýna, hver blanda er meðaltalsrýrnun þriggja sýna.
Heildarrýrnun er þurrkrýrnun að viðbætti „autogenous“ rýrnun.



Mynd 3.3.2

Þyngdarbreytingar sýna, hver blanda er meðaltal þriggja sýna.

3.3.2.9 Alkalípróf

Í þessu prófi voru steyptar tvær mismunandi blöndur, báðar með hreinu Portlandsementi. Önnur blanda var með 51% af endurunnum fylliefnum á móti 49% af Björgunarefni og hin blanda var með 100% Björgunarefni. Þetta eru samskonar blöndunarhlutföll fylliefna og voru í blöndum A og D í sjálfum prófsteypunum. Þenslur í blöndunni með endurunnu fylliefnum voru 0,094% en 0,083% í blöndunni sem voru eingöngu með fylliefnum frá Björgun. Þenslur í báðum blöndunum eru undir leyfilegum hámarksþenslum.

3.3.2.10 *Frostþíðupróf*

Í blöndum C (15% endurunnið) og D (hreint Björgunarefni) mældist mjög svipuð flögnun eftir 56 umf., eða rétt undir 1 kg/m^2 . Í blöndum A (51% endurunnið) og B (30% endurunnið) var flögnunin nokkru meiri, eða ríflega $1,4 \text{ kg/m}^2$. Samkvæmt þessum niðurstöðum stæðust blöndur C og D algengar kröfur varðandi hámarksflögnun fyrir útisteypu, en blöndur A og B ekki.

3.3.3 Lokaorð – samantekt

Mælingar á þeim prófblöndum sem hér eru til umfjöllunar sýna að með auknu hlutfalli endurunnins efnis minnkar styrkur steypunnar, fjaðurstuðull lækkar, rýrnun eykst og frostþol verður lakara, a.m.k. ef hlutfall endurunnins efnis fer yfir 30%. Ekki er marktækur munur á vatnsdrægni og alkalíþenslum.

Mæliniðurstöður hljóta þó að verða breytilegar hverju sinni eftir gerð og gæðum endurunnins efnis (steypu). Sú endurunna steypa sem hér var notuð var með lágu loftinnihaldi og frekar lélegri loftdreifingu og því varla við því að búast að veðrunarþol hennar sé viðunandi. Ef notuð væri endurunnin steypa með góðu loftkerfi ætti hins vegar að vera unnt að búa til steypu sem stæðist a.m.k. algengar kröfur varðandi veðrunarþol.

Þrýstipól endurunninnar steypu (fylliefna) hlýtur einnig að skipta talsverðu máli varðandi ýmsa eiginleika steypunnar. Þekkt er að sjálf fylliefnin klofna stundum við brotþolsmælingar á hástyrkleikasteypu, sem þýðir að sementsefjan er jafnstærk eða sterkari en fylliefnin. Steypa með fylliefnum úr hástyrkleikasteypu hefði væntanlega aðra eiginleika varðandi styrk, fjaðurstuðul og hugsanlega einnig rýrnun heldur en steypa úr þeim endurunnu fylliefnum sem hér voru notuð.

Endurunnin steypa getur vel verið til þess fallin að nota í lægri styrkflokka/veðrunarflokka svo sem innisteypu.

4. VISTFERILSGREINING

4.1 Inngangur

Vistferilsgreining, líftímagreining og vistferilsmat eru þýðingar á *Life Cycle Assessment* (LCA). Þetta er ný stöðluð aðferð sem gefur fyrirtækjum möguleika til að greina helstu umhverfisáhrif framleiðslu sinnar, bæði vegna framleiðslu vöru og notkunar hennar. Þetta er hlutlæg aðferð og eina aðferðin sem er til sem gefur möguleika á að meta heildaráhrif vöru á umhverfið. Vistferilsgreining fylgir þannig vörunni „frá vöggu til grafar“. UNEP (Umhverfisstofnun Sameinuðu þjóðanna) álitur að vistferilsgreining sé eitt besta tæki sem fáanlegt er til að fá yfirsýn yfir umhverfismál fyrir ákvarðanatöku. Erlendis eru fyrirtæki farin að nýta vistferilsgreiningu í ríkum mæli til að framleiða umhverfisvænar vörur og er fjárféð að auknar kröfur um aðhald í umhverfisáhrifum muni leiða til aukinnar notkunar á LCA.

Töluvert er til af upplýsingum í gagnaböndum um fyrri vistferilsgreiningar sem hægt er að nota sem grunn í aðrar vistferilsgreiningar. Þessar upplýsingar þarf þó að nota af varkárni vegna sérstöðu Íslands í umhverfismálum. Sem dæmi um þá sérstöðu má nefna að raforka er unnin úr vatnsorku eða jarðvarma en ekki með brennslu kola eða kjarnorku eins og víðs vegar annars staðar í Evrópu. Landið er stórt og strjálbýlt svo hér er hlutfallslega mikið af aðgengilegum malarnámum og svæðum fyrir tippa og flutningsvegaleiðir til og frá byggingum fremur stuttar. Vistferilsgreiningar á þessum grunnþáttum íslenskrar framleiðslu vantar.

Markmið eftirfarandi greininga er að kanna hagkvæmni þess að endurvinna steypu í burðarefni til vegagerðar; til samanburðar var reiknað með að mól væri notuð í burðarefni og að steypa færi á tipp Hafnarinnar eins og gert er í dag. Vonast er til að greiningin geti nýst verktökum og öðrum byggingaraðillum sem og stjórnvöldum til vinnu og ákvarðanatöku.

Í fyrstu beindist vinna að því að kanna endurvinnslu steypu í steypu en vegna niðurstaðna erlendra aðila um að það sé dýr kostur og tæknilegum erfiðleikum háður var ákveðið að einbeita sér að nýtingu í vegagerð og þá í burðarlag.

Steypuúrgangur í vegagerð þarf að vera tiltölulega hreinn af öðrum efnum. Til að afla hráefnisins steypuúrgangs þarf að fara gegnum eftirfarandi ferli:

Niðurbrot mannvirkis, flokkun steypu frá öðrum niðurbrotsefnum, mólun á steypunni og flutningur á hráefninu steypuúrgangi á vegstæði ásamt flutningi annarra hluta mannvirkisins, byggingarúrgangs, á skilastað eða á tipp. Reiknað var með því að steypuúrgangurinn færi á tipp Hafnarinnar, þar sem sáralítið berst af steypuúrgangi á jarðvegslosunarstað Reykjavíkurborgar á Reynisvatnsheiði.

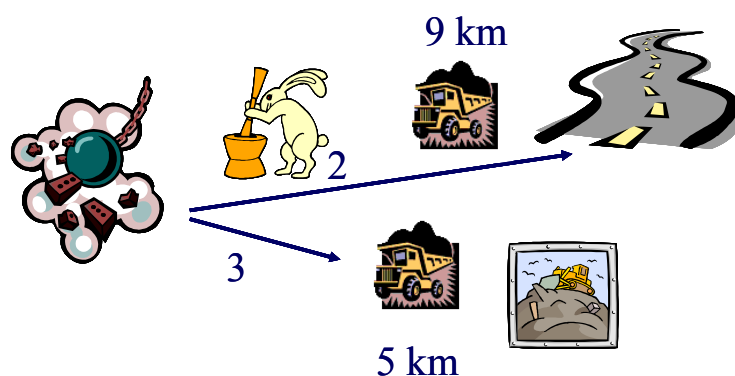
Ýmislegt mælir með endurvinnslu steypuúrgangs. Við erum háð reglugerðum ESB um að endurvinna stóran hluta af úrgangi og það er auðveldara að endurvinna steypu en ýmislegt annað. Þjóðfélagið gerir sífellt auknar kröfur um að við lifum í anda sjálfbærrar þróunar og það er þörf á að fara vel með auðlindir. Þó Ísland sé tiltölulega auðugt af malarefni þurfum við sífellt að fara lengra eftir þeim og kosta meiru til á höfuðborgarsvæðinu. 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 (um 50 þús. m³) af steypu á höfuðborgarsvæðinu sem hefði mátt mala, flokka og nýta sem burðarefni.

4.2 Efni og aðferðir

Aðferðafræði vistferilsgreiningar er notuð til að meta hvort sé betra fyrir umhverfið: að nýta steypuúrgang til vegagerðar eða sem uppfyllingu á tipp Hafnarinnar. Samhliða er kostnaðargreining notuð til að meta hvort endurvinnsla hennar sé hagkvæm. Til samanburðar er vinnsla malar í burðarefni vega metin á sama hátt.

Sett voru upp þrjú dæmi (sjá 1, 2 og 3) og greining á umhverfisáhrifum og kostnaðargreining unnar út frá þeim.

1. Möl er unnin utan Reykjavíkur og flutt 25 km leið til notkunar í vegagerð. Náman var valin þannig að hvorki þyrfti að kosta til sprengingum né dælingu við að ná efninu. Hvort tveggja hefur áhrif á umhverfi.
2. Hús er rífið niður þannig að steypa verði endurunnin, hún möluð og hráefnið nýtt til vegagerðar. Gert er ráð fyrir að flutningsvegalengd sé 9 km. Öðrum efnum er skilað á viðeigandi staði. Sérstaklega skal bent á að steypujárn flokkast frá við vinnsluna og er sent til endurvinnslu.
3. Hús er rífið niður og steypu fargað á tipp Hafnarinnar, sem er núverandi losunarstaður; flutningsvegalengd er 5 km. Samkvæmt upplýsingum frá Reynisvatnstipp kemur sáralítið af steypuúrgangi þangað. Öðrum efnum er skilað á viðeigandi staði og skal sérstaklega bent á að steypujárn flokkast ekki frá og er ekki sent til endurvinnslu.



Í dæmum 1 og 2 var ákveðið

- að gera ráð fyrir því að vegir unnir úr báðum hráefnum væru að öllu leyti sambærilegir, þ.e. undirbygging, vinna við lagningu, viðhald og notkun þeirra. Þetta er einföldun, því ekki fundust gögn um viðhald slíks vegar og vitað er að steypumulningur býr yfir sementseiginleikum sem veldur því að með tímanum límist steypumulningurinn saman og myndar sterkt undirlag (Wahlström, 2001, Arm, 2001). Til samanburðar og gamans var því einnig reiknað með að burðarlagið gæti verið 40% þynnra ef það væri úr steypumulningi (Kivekäs, 2000).

Í dæmum 2 og 3 nær greiningin til þess að

- rífa húsið, vinna steypuúrgang úr byggingu í burðarefni í veg eða fylliefni á tipp Hafnarinnar. Kostnaður og umhverfisáhrif þess að byggja húsið (sement, sandur, framleiðsla þakefna o.fl.) og nota húsið (kynding, málning, viðgerðir o.fl.) fram að þeim degi sem það er rífið er utan greiningar. Kostnaður við að gera tipp Hafnarinnar úr öðrum efnum en steypu ef dregur úr framboði hennar, vinnsla og flutningur efna frá Geldinganesi og hafnarframkvæmdir þar eru utan greiningarinnar.

4.3 Kostnaðargreining

Til að meta hvort það borgi sig að endurvinna steypu í steypumulning var ákveðið að skoða breytilegan kostnað við ofangreind dæmi og bera saman. Kannaður var breytilegur kostnaður við vinnslu malarefna, þess að farga steypu á tipp og vinna steypumulning úr húsi sem verið er að rífa. Kannaður var fullur kostnaður við flutninga á efni og förgun þeirra á viðeigandi stöðum. Þessi leið, að nota breytilegan kostnað við vinnslu steypumulnings, var farin þar sem ekki er til verðmiði á steypumulningi eða því að farga húsi. Leitað var eftir rauntölum frá fyrirtækjum sem starfa í viðkomandi greinum.

Forsendur reikninganna eru í viðauka 1 en útreikningarnir á vinnslukostnaði við öflun hráefnanna malar og steypumulnings og flytja þau til vegagerðar á meðalstað á höfuðborgarsvæðinu í viðauka 2.

4.4 Vistferilsgreining

4.4.1 Umfang, skilgreining og markmið greiningar

Umfang Vf 1 til Vf 3.

Vf 1. er vinnsla malar úr námu og flutningur hennar í veg.

Vf 2. er niðurrif húss, vinnsla steypumulnings í burðarefni og flutningur þess í veg.

Vf 3. er niðurrif húss og flutningur steypu á tipp Hafnarinnar.

Tafla 4.4.1. Vf 1, Vf 2 og Vf 3.

Upplýsingar voru umreiknaðar frá 1000 m³ gildum til að henta reiknieiningunni sem var 700 m³. Nýtingarhlutfall vinnslu er lægra í Vf2 en Vf3 þar sem afföll verða á steypunni við vinnslu hennar í steypumulning.

Vf 1, mól	Vf 2, steypumulningur	Vf 3, steypa í Höfnina
Burðarlagsefni 700 m ³	Burðarlagsefni 700 m ³	Fylliefni í Höfnina 700 m ³
Uppruni: náma utan Rvk.	Uppruni: hús í Rvk	Uppruni: hús í Rvk
	Stærð húss: steypa 1000 m ³	Stærð húss: steypa 1000 m ³
Vinnsla	Vinnsla	Vinnsla
Ýta: 6:12 klst.	Beltagrafa: 28:34 klst.	Beltagrafa: 22:24 klst.
Hjólaskófla: 6:12 klst.	Hjólaskófla: 14:16 klst.	Hjólaskófla: 11:12 klst.
Brjótur: 3:06 klst.	Brjótur: 7:08 klst.	Brjótur: 0 klst.
Harpari: 1:36 klst.		
Nýtingarhlutfall í vinnslu 90%	Nýtingarhlutfall í vinnslu 80%	Nýtingarhlutfall í vinnslu 100%
Flutningsvegalegd: 25 km.	Flutningsvegalegd: 9 km.	Flutningsvegalegd: 5 km.
	Önnur efni við vinnslu:	Önnur efni við vinnslu:
	steypujám: 71 tonn	steypujám 0 tonn
	þakjám: 1,8 tonn	þakjám: 1,4 tonn
	timbur: 3,3 tonn	timbur: 2,65 tonn
	óflokkaður úrgangur: 18,8 tonn	óflokkaður úrgangur 25 tonn
	yllingarefni í Höfnina í 175 m ³	yllingarefni í Höfnina í 210 m ³

Til að ná fram þeim samburði sem sóst er eftir nægir ofangreind greining. Talað er um greiningarnar sem vistferilsgreiningar þótt Vf 1–Vf 3 taki til hluta af lífsferlum og utan greiningar séu eftirtaldir þættir:

- Vf 1. að byggja veg, viðhalda honum og farga þegar hann hefur lokið hlutverki sínu
- Vf 2. að byggja hús, nota það og viðhalda því og byggja veg, viðhalda honum og farga þegar hann hefur lokið hlutverki sínu
- Vf 3. landmótun Hafnarinnar, förgun efna í fyllingum Hafnarinnar og vinnsla og flutningur annarra malarefna þangað

Reiknieining (functional unit)

- Vf 1. Er 1000 m² vegar og þarf í það 700 m³ af burðarlagsefninu mól.
- Vf 2. Er 1000 m² vegar og þarf í það 700 m³ af burðarlagsefninu steypumulningi.
- Vf 3. Er 700 m³ fyllingarefnis.

Vistferilsgreiningarnar beinast ekki að vegagerðinni sjálfri eða Hafnarmannvirkjum og því eru þetta óvenjulegar reiknieiningar. Ákveðið var að fara þessa leið til að auðvelda samanburð milli malar og unnins steypumulnings og unnins steypumulnings og steypu sem fer á tipp.

Ekki er vitað um hlutfallslega endingu eða viðhald veganna í dæmum Vf1 og Vf2 og var ákveðið að gera ekki ráð fyrir slíku í greiningunni. Hins vegar má vera að burðarlagið megi vera þynnra ef steypumulningur er notaður og var prófað að reikna með því.

4.4.2 Gagnasöfnun (*Life Cycle Inventory Analysis*)

Til að fá upplýsingar um hráefnanotkun, orkunotkun, landnotkun og úrgang og útblástur var m.a. leitað eftir upplýsingum hjá eftirtöldum aðilum:

Stýrihóp verkefnisins
Iðntæknistofnun
Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins
Borgarverkfræðingi
Íslenskum aðalverktökum
Sorpu
ERGO

Eykt
Vatnsfellsnámum
Furu
Gámaþjónustunni
Gatnamálastjóra
Vegagerðinni
Samtökum iðnaðarins
Einstaka vörubílstjórum og vörubílastöðvum
Íslenskum aðalverktökum
Háfelli
Kraftvélum ehf.

4.4.3 Áhrif á umhverfi (*Life Cycle Impact Assessment*)

Til að meta áhrif þeirra þátta sem koma fram við magngreiningu á umhverfisþáttum hafa verið þróaðar nokkrar aðferðir. Í þessari greiningu er notuð aðferðin Eco-Indicator 99(E), sem er samevrópsk aðferð, í forritinu SIMAPRO. Samkvæmt þessari aðferð eru umhverfisáhrif sett saman í eftirfarandi þrjá flokka:

- a) heilsa manna – þar vege gróðurhúsaáhrif og ósoneyðing þungt;
- b) gæði vistkerfis – þar undir kemur landnotkun;
- c) auðlindir – þar vegur jarðefnaeldsneyti þungt.
- d)

Niðurstöður birtast í EcoIndicator-einingum (Pt). EcoIndicator er skilgreindur þannig:

Ein EcoIndicator-eining (Pt) er einn þúsundasti af umhverfisáhrifum vegna meðal-Evrópubúa á hverju ári.

Inn í þetta eru reiknaðar tölur um umhverfisáhrif af notkun auðlinda, efnanotkun, landnotkun og vegnar af til þess bærum sérfræðingum til að meta hlutfallslegt mikilvægi hinna mismunandi þátta. Raungildi hverrar einingar er ekki mikilvægt þar sem við erum að bera saman mismunandi leiðir og viljum vita hlutfallslega hver er umhverfislega betri eða verri en önnur.

Forritið SIMAPRO var valið þar sem það er það vistferilsgreiningarforrit sem hefur hlotið hvað mesta útbreiðslu. Í forritinu eru gagnasöfn um framleiðslu, notkun og eyðingu ýmissa efna.

4.4.4 Greining á niðurstöðum (*Life Cycle Interpretation*)

- Kannað er hvort markmið greiningarinnar hafi verið uppfyllt og metið hvernig hægt er að ná framförum í umhverfismálum.

Þar sem gögn voru notuð úr gagnabanka SIMAPRO var leitast við að aðlaga forsendur erlendra vistferilsgreininga íslenskum aðstæðum og/eða byggja upp íslensk gögn. Byggð voru upp íslensk gögn fyrir vinnslu steinefna/malar úr námu.

4.5 Niðurstöður

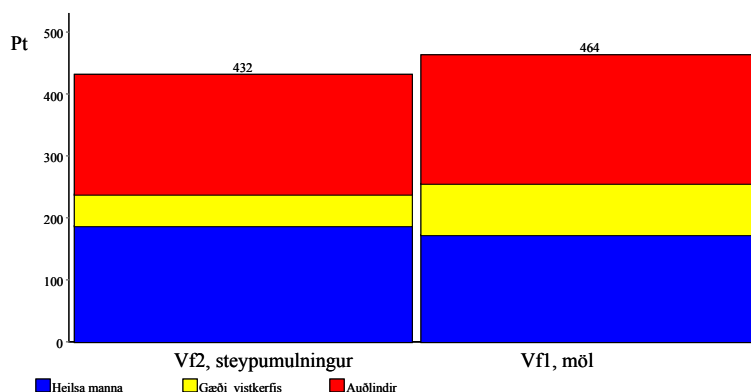
4.5.1 Vistferilsgreining á byggingarúrgangi

4.5.1.1 Burðarlagsefni í veg

Tafla 4.5.1. Vf 1 og Vf 2, vistferilsgreiningar á mól og steypumulningi

Vf 1, mól	Vf 2, steypumulningur
Burðarlagsefni 700 m ³ Uppruni: náma utan Rvk.	Burðarlagsefni 700 m ³ Uppruni: hús í Rvk
Vinnsla Ýta: 6:12 klst. Hjólaskófla: 6:12 klst. Brjótur: 3:06 klst. Harpari: 1:36 klst.	Stærð húss: steypa 1000 m ³ Vinnsla Beltagrafa: 28:34 klst. Hjólaskófla: 14:16 klst. Brjótur: 7:08 klst.
Nýtingarhlutfall í vinnslu 90% Flutningsvegalegd: 25 km.	Nýtingarhlutfall í vinnslu 80% Flutningsvegalegd: 9 km.

Það hefur áþekkt áhrif á umhverfið (432 á móti 464) að nýta steypumulning og mól í vegagerð þegar gert er ráð fyrir því að það þurfi jafnmikið burðarefni í veginn hvort sem notuð er mól eða steypumulningur, en ef gert er ráð fyrir að það þurfi mun minna af steypumulningi breytist það.



Comparing 1 p life cycle 'Hús-700m3-9km with 1 p life cycle 'Mól-700m3-25km malarefni'; Method: Eco-indicator 99 (E) / Europe EI 99 E/E / single score

Mynd 4.5.1

Umhverfisáhrif við Vf 2; að rífa hús og búa til steypumulning og flytja 9 km á móti umhverfisáhrifum við Vf1; að vinna mól og flytja 25 km leið.

Stór hluti umhverfisáhrifa vegna malarinnar stafar af flutningum. Flutningur er töluvert meiri fyrir mölina en steypumulninginn, þar sem gert er ráð fyrir að flytja þurfi mölina frá nágrenni Reykjavíkur, eða 25 km vegalengd, en að steypumulninginn þurfi að flytja 9 km vegalengd innan borgarmarkanna. Einnig koma inn áhrif af landnotkun sem eru lítil en ekki er gert ráð fyrir nýtingu auðlindarinnar malar, sem er ósnortið efni.

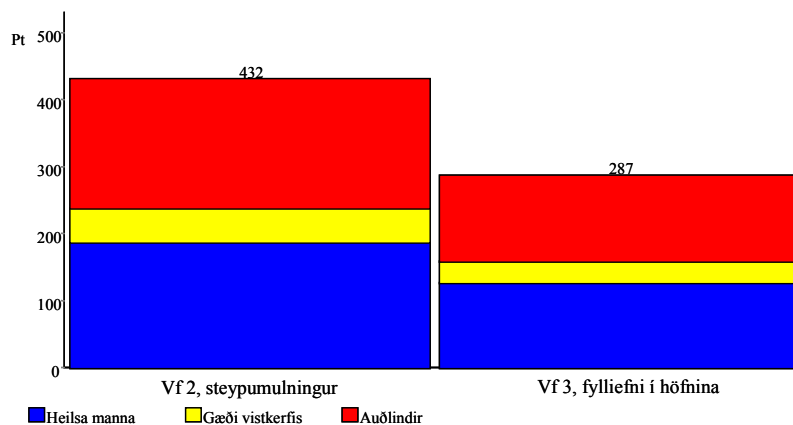
Þegar reiknað er með að það þurfi 40% minna af burðarefninu steypumulningi en af mól er hlutfallslega mun betra að nýta steypumulninginn en mölina í vegagerð og er stór hluti þess vegna flutninga af sömu ástæðum og í dæminu hér að ofan.

4.5.1.2 Steypa unnin í steypumulning og steypa sem fer sem fyllingarefni á tipp Hafnarinnar

Tafla 4.5.2. Vf 2 og Vf 3; vistferilsgreiningar á steypu í burðarefnið steypumulning og fyllingarefni.

Vf 2, steypumulningur	Vf 3, steypa í Höfnina
Burðarlagsefni 700 m ³	Fylliefni í Höfnina 700 m ³
Uppruni: hús í Rvk	Uppruni: hús í Rvk
Stærð húss: steypa 1000 m ³	Stærð húss: steypa 1000 m ³
Vinnsla	Vinnsla
Beltagrafa: 28:34 klst.	Beltagrafa: 22:24 klst.
Hjólaskófla: 14:16 klst.	Hjólaskófla: 11:12 klst.
Brjótur: 7:08 klst.	Brjótur: 0 klst.
Nýtingarhlutfall í vinnslu 80%	Nýtingarhlutfall í vinnslu 100%
Flutningsvegalengd: 9 km.	Flutningsvegalengd: 5 km.
Önnur efni við vinnslu:	Önnur efni við vinnslu:
steypujárn: 71 tonn	steypujárn 0 tonn
þakjárn: 1,8 tonn	þakjárn: 1,4 tonn
timbur: 3,3 tonn	timbur: 2,65 tonn
óflokkadur úrgangur: 18,8 tonn	óflokkadur úrgangur 25 tonn
fyllingarefni í Höfnina í 175 m ³	fyllingarefni í Höfnina í 210 m ³

Þegar unnið er með vistferilsgreiningu efri kassanna tveggja kemur í ljós að það eru minni umhverfisáhrif af því að fara með grófan steypuúrgang sem fyllingarefni á tipp Hafnarinnar en að mylja hann í steypumulning og nota sem hráefni í veg, sjá myndir 4.5.2 og 4.5.3.

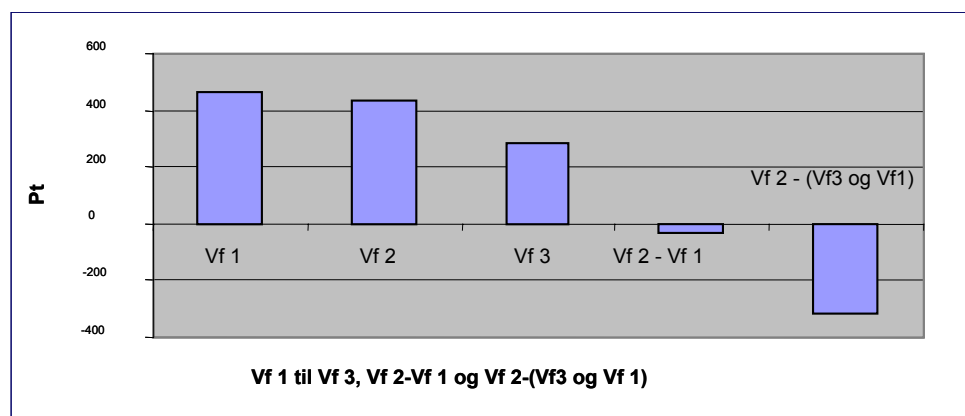


Comparing 1 p life cycle 'Hús-700m3-9 km with 1 p life cycle 'Tippur-10km-700m3'; Method: Eco-indicator 99 (E) / Europe EI 99 E/E / single score

Mynd 4.5.2

Umhverfisáhrif við Vf 2; að rífa hús og búa til steypumulning og flytja 9 km á móti umhverfisáhrifum við Vf 3; að rífa hús og flytja 5 km á tipp Hafnarinnar.

Þetta er vegna þess að gert er ráð fyrir að flutningurinn sé styttri á tipp Hafnarinnar en í veg og vegna umhverfisáhrifa af því að mylja steypuna í brjót. Hér er ekki gert ráð fyrir því að spara samsvarandi magn af mól úr námu í gerð vegarins. Þegar gert er ráð fyrir því, sjá Vf 2–Vf 1 á mynd 4.5.3, breytist dæmið þannig að það er miklu umhverfisvænna að nota steypumulning í veg. Það skýrist af því að flutningarnir eru meiri með mól og af umhverfisáhrifum við að nota mölina, sem er ósnortið efni. Þessar niðurstöður eru í samræmi við niðurstöður Mroueh o.fl. (2001) þar sem nýting steypumulnings í undirlag vegar dró úr umhverfisáhrifum miðað við að notuð væri ný mól.



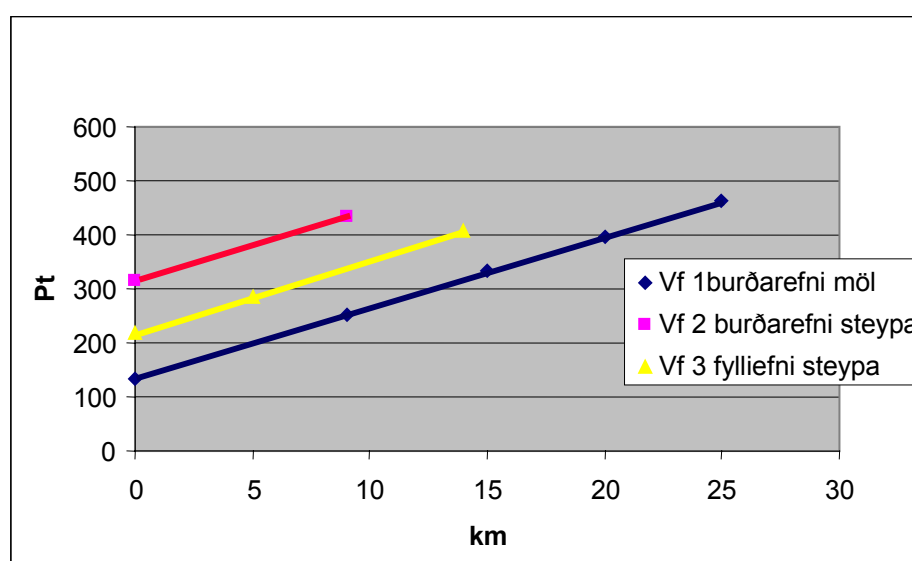
Mynd 4.5.3

Umhverfisáhrif Vf 1; að vinna og flytja mól í burðarefni, Vf 2; að rífa hús og nota steypumulning sem burðarefni, Vf 3; að rífa hús og flytja á tipp Hafnarinnar, Vf 2–Vf 1 að rífa hús og nota sem burðarefni og spara mól og Vf 2–(Vf 3 og Vf 1) þar sem einnig er gert ráð fyrir að húsið þurfi hvort sem er að rífa og umhverfisáhrif þess og flutnings á tipp Hafnarinnar dregin frá.

Ganga má skrefi lengra og álykta að húsið þurfi að rífa hvort sem er, og því séu umhverfisáhrif Vf 3, þess að rífa húsið og farga á tipp, ekki hluti af því að vinna steypumulning og að við það að vinna steypumulning sparist umhverfisáhrif vegna vinnslu og flutnings malar, sjá mynd 4.5.3 Vf 2–(Vf 3 og Vf 1).

4.5.1.3 Flutningar

Flutningur á efnismassanum er stór þáttur í umhverfisáhrifunum, sjá mynd 4.5.4. Því er ljóst að það að draga úr flutningsvegalengd á efni skiptir verulegu máli og umhverfisáhrif þess að flytja efni hverja 5 km eru allnokkur. Þessar niðurstöður eru í samræmi við niðurstöður Mroueh o.fl. (2001) þar sem flutningar voru stór umhverfisþáttur.



Mynd 4.5.4

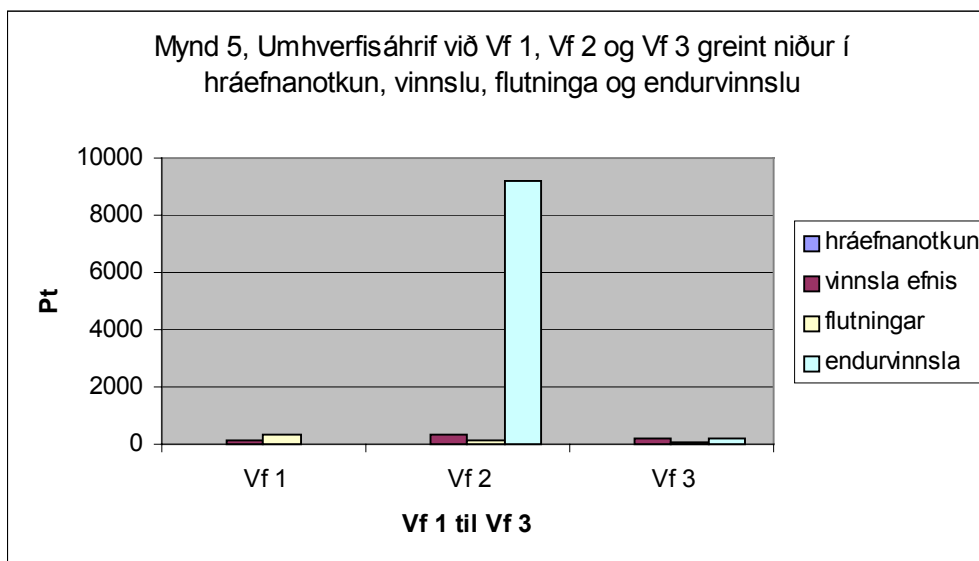
Umhverfisáhrif á Vf 1–Vf 3 vegna flutninga.

Í ofangreindum greiningum er gert ráð fyrir umhverfisáhrifum af að nota mól úr námu en lítið er á húsið sem fría auðlind fyrir steypumulning og ekki gert ráð fyrir þeim áhrifum sem hráefni þess og bygging hefur á umhverfið.

4.5.1.4 Endurvinnsla

Steypujárn var metið sem 80 tonn fyrir 1000 rúmmetra hús, sem er fremur hátt þótt þetta hafi verið verksmiðjuhús. Timbur var um 30 m³ og samkvæmt staðli frá Sorpu (sem veruleg skekkja er í) hefur það verið um 4 tonn fyrir 1000 rúmmetra hús, sem er fremur lítið.

Í vistferilsgreiningunni hér á eftir eru sérstaklega reiknuð út umhverfisáhrif við að endurvinna/farga efnunum í neðri hluta töflu 4.5.2, þar sem tölur hafa verið umreiknaðar fyrir 700 rúmmetra af efni, þ.e. 71–56 tonn af steypujárni og 1,4 til 1,8 tonn af þakjárn, en umhverfisáhrif timburs 3,3 tonn eða 2,65 og óflokkaðs sorps 18,8, og 25 tonn eru hverfandi og var sleppt í myndinni hér á eftir. Athuga skal að þar sem húsið er tekið sem auðlind er ekki reiknað með kostnaði þess að vinna málmana úr jörðu til byggingar mannvirkisins.



Mynd 4.5.5

Umhverfisáhrif við Vf 1, Vf 2 og Vf 3 greind niður í hráefnanotkun, vinnsla, flutning og endurvinnsla.

Það kemur í ljós að verulegu máli skiptir að endurvinnna málmana. Um 9.000 einingar vinnast við að endurvinnna 71 tonn af steypujárni í Vf 2 og rúmlega 200 einingar við að endurvinnna 1,8 tonn af þakjárn. Svo má gera ráð fyrir að steypujárn hafi þakkast 25% verr en hér er gert ráð fyrir og hafi í raun verið um þrjú fjórðu af þeim 71 tonnum sem hér er reiknað með; þá er endurvinnsla að skila 6750 einingum. Hins vegar kemur í ljós að ef reiknað er með að timbrið og óflokkaða sorpið fari í landfyllingu sem stenst nútímagæðakröfur þá eru engin umhverfisáhrif af því. Það er staðreynd að stór hluti þess timburs sem fellur til við niðurrif bygginga er málað timbur og endar í landfyllingu.

Ekki er metið hvaða áhrif landfylling Hafnarinnar og losun úrgangsefna í fyllinguna hefur á umhverfi. Ekki er gert ráð fyrir því að annað efni sé unnið og flutt og land mótað við Höfnina ef steypa er mulin og notuð í vegagerð. Ennfremur er ekki reiknað með áhrifum af völdum steinryks eða áhrifum á umhverfi vegna leka efna úr steypu, hvorki við höfnina né í vegagerð, en talið er að þau áhrif séu ekki mjög mikil (Wahlström et al., 2000) en þó mismikil eftir því úr hverju steypa er unnin (Van der Sloot, 2000). Í Hollandi hefur verið komið upp kerfi til að fylgjast með því að þessi efni séu ekki of menguð til endurnotkunar, þar sem 8 milljónir tonna byggingarúrgangs eru endurnotuð árlega og þá aðallega í vegagerð (Hendriks et al., 1994).

Rétt er að ítreka að frá umhverfissjónarmiði skiptir verulegu máli að flokka og endurvinnna málmana.

Samkvæmt íslenskum upplýsingum úr iðnaðinum er verulegu magni af málmum, aðallega steypujárni, skilað inn til endurvinnslu ef húsið er unnið í steypumulning en engu steypujárni ef steypan fer á tipp Hafnarinnar. Það er verulega jákvætt að skila málmum inn til endurvinnslu því þeir eru óendurnýjanleg auðlind og vinnsla þeirra úr jörð kostar er mun orkufrekari en endurvinnsla þeirra. Í kostnaðar- og umhverfisgreiningu Torring (2000) kemst hann að því að það má mylja tonn af steypu með steypustyrktarjárni 34 sinnum áður en mulningurinn í brjót kostar jafnmikla orku og sparast vegna endurvinnslu steypujárnsins sem er í þessu tonni. Ef við berum það saman við okkar tölur er það rúmlega helmingi minna en hjá okkur. Þar getur til dæmis munað því að mismikið hafi verið af málmum, þ.e. steypujárni, í húsunum sem um ræðir og/eða að það sé vanmetið hve langur tími fari í að mylja steypuna. Niðurstöður okkar eru að óháð slíkri skekkju skiptir meira máli að mylja steypuúrgang til að endurheimta steypujárnið og skila til endurvinnslu heldur en hvað er gert við steypumulninginn sem verður til í því ferli.

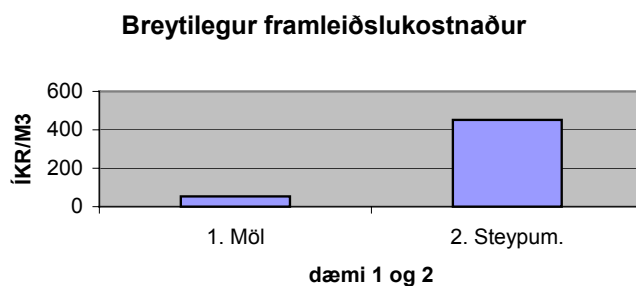
Í viðauka 3 sést hlutfallslegt vægi hinna mismunandi þátta hvers vistferils Vf1, Vf2 og Vf3 á umhverfisáhrif.

4.6 Kostnaðargreining á nýtingu steypu í vegagerð

4.6.1 Samanburður á kostnaði við burðarlagsefni í veg, dæmi 1 og 2.

Verð á einum rúmmetra af steypumulningi er ekki til. Því var reiknaður breytilegur kostnaður við framleiðslu steypumulnings. Breytilegur kostnaður við að brjóta hús niður og vinna í steypumulning er 452 kr. á rúmmetrann, án flutninga. Samsvarandi kostnaður af mól er 54 kr. á rúmmetrann. Breytilegur framleiðslukostnaður steypumulnings er því nífalt hærri en malar, sjá töflu 4.6.1.

Verulegur munur er á útreiknuðum vinnslukostnaði malar og bandarískum tölum um vinnslukostnað malar þar sem hann er reiknaður vera um 180 til 220 kr., á rúmmetra (Rock Product, 1991). Reyndar er einnig verulegur munur á verði á mól á höfuðborgarsvæðinu, því þó að við miðum við tölur úr Vatnsskarðsnámum, þar sem mölin kostar 205 kr. með vsk., þá kostar sama magn um 400 kr. með vsk. frá Björgun, en því efni er dælt af hafsbotni.



Mynd 4.6.1

Breytilegur framleiðslukostnaður á mól og steypumulningi

Tafla 4.6.1

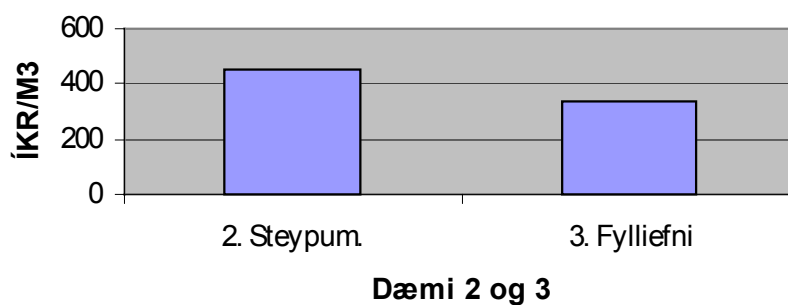
Helstu niðurstöður kostnaðargreiningar, sjá nánari sundurliðun í viðauka 1.

Kostnaðarliðir	Burðarlagsefni í veg		Fylliefni á tipp
	1. mól	2. steypumulningur	3. fylliefni
Breytilegur kostnaður			
Framleiðslukostnaður	48.731	354.752	337.299
Heildarkostnaður			
Flutningskostnaður			
Hráefna (mól, steypu)	1.137.354	298.593	239.833
Förgunarkostnaður			
gámar, flutningar & gjaldtaka	0	387.208	594.208
Leigukostnaður			
tæki	0	559.520	463.520
Samtals	1.186.085	1.600.072	1.634.860
M3 notaðir	900	784	1000
ÍKR/M3 (án flutnings- og förgunarkostnaðar)	54	452	337
ÍKR/M3 (með flutnings- og förgunarkostnaði)	1.318	1.327	1.171
ÍKR/M3 (leiga tækja, förgun og flutningar)	aukadæmi	2.041	1635

4.6.2 Samanburður á kostnaði af steypumulningi og fylliefni úr steypu, dæmi 2 og 3.

Það er dýrara að búa til einn rúmmetra af steypumulningi en einn rúmmetra af fylliefni á tipp Hafnarinnar, sjá töflu 4.6.1 og mynd 4.6.2.

Breytilegur framleiðslukostnaður



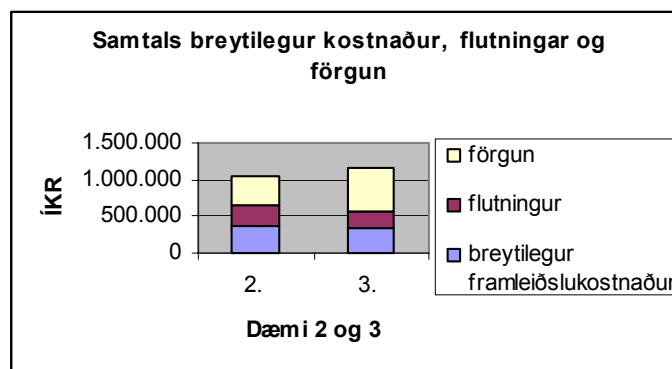
Mynd 4.6.2

Breytilegur framleiðslukostnaður á steypumulningi og fylliefni.

Það að rífa hús og búa til einn rúmmetra af steypumulningi kostar 452 kr. en það að rífa hús og búa til einn rúmmetra af fylliefni kostar 337 kr. án kostnaðar við flutning, förgun og leigu á tækjum. Þetta eru þó ekki sambærilegar tölur því þegar búnir eru til 784 rúmmetrar af steypumulningi verða líka til um 200 rúmmetrar af efni sem fer á tipp Hafnarinnar. Ef þessum 200 rúmmetrum er

bætt við 784 rúmmetra af burðarlagsefni þá kostar rúmmetrinn af þessu blandaða efni 360 kr. á móti 337 kr., hvort tveggja er án flutnings- og förgunarkostnaðar.

Þegar framleiðslu-, flutnings- og förgunarkostnaður er lagður saman telst það hagkvæmara að vinna steypumulninginn í burðarefni en að flytja allt a tipp Hafnarinnar, sjá mynd 4.6.3.



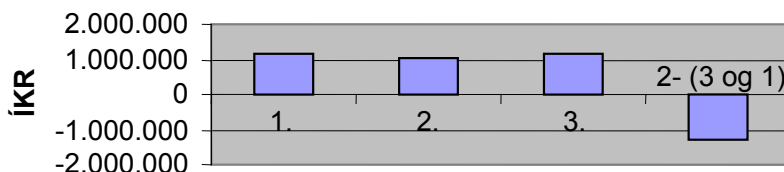
Mynd 4.6.3.

Kostnaður við að rífa hús, framleiða og flytja steypumulning og fylliefni og farga því sem þarf á viðeigandi stöðum.

Samkvæmt upplýsingum úr iðnaðinum er kostnaður við að rífa húsið sá sami hvort sem búinn er til steypumulningur eða fylliefni. Breytilegur kostnaður við að brjóta steypuna niður er óverulegur, eða um 17.000 kr. (sjá viðauka 1). Á móti kemur að förgunarkostnaður minnkar verulega og helgast það af því að minna er af óflokkuðum úrgangi sem þarf að flytja og borga fyrir losun á til Sorpu. Tekið skal fram að ef til vill má flokka betur og minnka förgunarkostnað án þess að fara í að brjóta steypuna með brjót og búa til steypumulning, sjá töflu 4.6.1 og viðauka 1.

Ef það er á einni hendi að rífa hús og byggja upp veg, og vinnsla steypumulnings kemur í stað vinnslu á fylliefni á Höfnina og sparar kaup og flutning á mól, þá borgar það sig að vinna steypumulning sjá 2–(3 og 1).

Samtals breytilegur framleiðslukostnaður og flutningar



Dæmi 1, 2, 3 og 2- (3 og 1)

Mynd 4.6.4

Kostnaður við að vinna mól og flytja (dæmi 1), rífa hús og búa til steypumulning og fylliefni og flytja (dæmi 2 og 3), og kostnaður við að rífa hús og búa til steypumulning og spara mól og það að rífa húsið og farga á tipp Hafnarinnar 2–(3 og 1).

Það er niðurstaða okkar að ef það er til losunarstaður fyrir steypumulning miðsvæðis á höfuðborgarsvæðinu getur það borgað sig að vinna steypumulning og losa þar fyrir verktaka ef þeir fá eitthvað fyrir efnið. Þetta er þó allt háð flutningsvegalengdum.

Fái þeir ekki neitt fyrir efnið er þetta þó aðeins óþarfa vinna, því hægt er að losna við steypuna á tipp Hafnarinnar án kostnaðar.

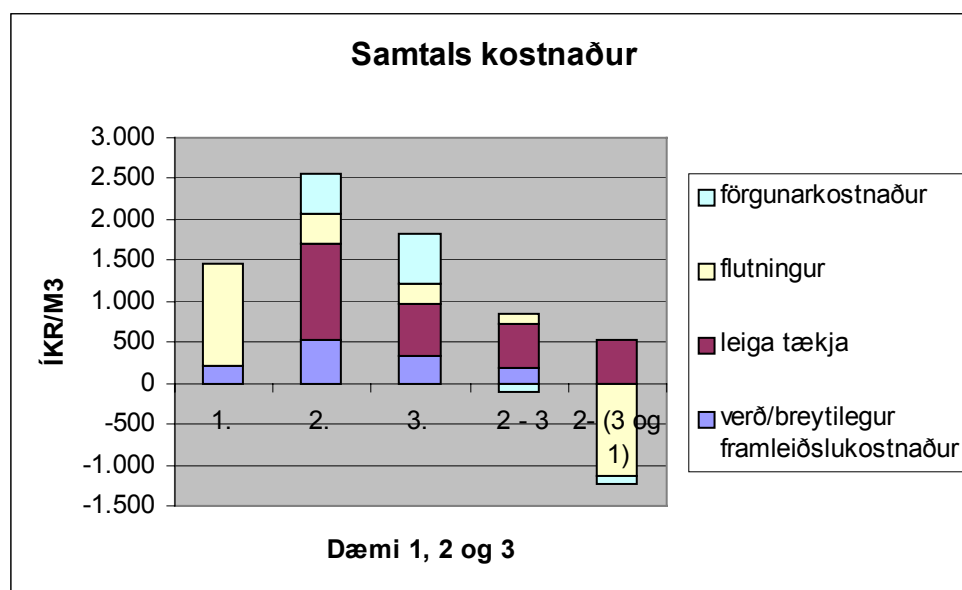
Niðurstaða þessara reikninga er að það sé þess virði að skoða það nánar að vinna og selja steypumulninginn í burðarefni í veg eða til annarra nota. Til að fullvissa sig um það þarf að kanna fastakostnað og fjármagnskostnað þessara ferla.

Í greiningunni er ekki gert ráð fyrir því að Höfnin kaupi eða vinni fylliefni ef steypa fer í vegagerð og ekki er gert ráð fyrir verðmætum sem skapast vegna landfyllingar.

Nú leikum við okkur að tölunum

1. Gerum ráð fyrir því að mölin sé keypt en tæki leigð til að brjóta húsið niður – þá lítur dæmið út eins og í mynd 4.6.5. Þessi reikniæfing gefur okkur færi á að nálgast frekar raunverulegan kostnað við að mylja steypuna niður því inni í leigu á tækjum er fjármagnskostnaður, viðhald, afskriftir og hagnaðarmyndun af rekstri tækjanna. Á myndinni má sjá að það er dýrara að brjóta niður hús með öllum tengdum kostnaði en að kaupa mól þegar leggja þarf veg. Ef hins vegar er gert ráð fyrir því að það þurfi hvort sem er að rífa húsið 2–3 er viðbótarkostnaður við að vinna steypuna í burðarefni um 400 kr. og ef við gerum ekki bara ráð fyrir því að það þurfi hvort sem er að rífa húsið heldur einnig að það þurfi hvort sem er að ná í mól 2–(3 og 1) virðist það vera hagkvæmt að vinna steypumulninginn í veg.

2. Gerum ráð fyrir að við séum að brjóta niður hús sem sé heldur sterkbyggðara en húsið sem dæmi okkar að ofan greinir frá og að til þurfi fleyg í 10 tíma fyrir bæði dæmi 2 og 3 og beltagröfu í 12 tíma aukalega í dæmi 2 miðað við dæmi 3. Þessir útreikningar gefa okkur hugmynd um næmi kostnaðarreikninga fyrir þeirri vinnu sem þarf að fara fram með tækjum. Þegar þetta er gert sýnir mynd 4.5.7 að viðbótarkostnaður þess að brjóta steypu í burðarefni er um 700 kr. á rúmmetrann; það virðist ennþá vera hagkvæmt að nota efnið fremur en að kaupa og flytja mól á vegstæði ef það þarf hvort sem er að brjóta niður húsið (2–3 og 1).



Mynd 4.6.5

4.6.3 Einstakir kostnaðarliðir í greiningunni sundurliðaðir

4.6.3.1 Flutningskostnaður

Flutningskostnaður er stór kostnaðarliður. Flutningsvegalengdir og munur á þeim skiptir því miklu máli þegar verktakar eru að meta hvort og hvað skuli gera við byggingarúrgang í hverju verki. Hér var bæði reiknað með að byggingarúrgangur yrði urðaður á tipp Hafnarinnar og á Reynisvatnsheiði. Það verulega miklu lengra og dýrara (um 700 þús. kr. í stað um 240 þús. kr.) að farga byggingarefni á Reynisvatnsheiði og er það ekki gert í dag.

4.6.3.2 Leiga á tækjum

Þegar henni er bætt við (mynd 4.6.5) breytast tölur nokkuð og er þá stuðst við útselt verð á mól í stað breytilegs framleiðslukostnaðar. Leiga beltagröfu er stærsti einstaki liðurinn, enda þarf hana í allnokkurn tíma.

4.6.3.2 Förgunarkostnaður

Undir förgunarkostnað fellur kostnaður vegna gáma og gjald til Sorpu. Förgunarkostnaður fyrir óflokkað sorp til Sorpu er verulegur hluti af heildarkostnaði við niðurbrot húss og minnkar verulega, eða um þriðjung, sé steypu

úrgangurinn endurunninn í steypumulning vegna þess að úrgangur er betur flokkaður. Þetta er væntanlega hægt að gera, án þess þó að mylja steypuna í steypumulning, og draga þannig úr kostnaði við að rífa hús. Förgunarkostnaður á málmum eykst þó og er það vegna kostnaðar við að leigja og flytja gáma af steypujárni til losunar í Furu.

Einnig kemur í ljós að í meðalverki fæst ekki endurgreitt fyrir það að flokka málma frá, þar sem ekki er greitt fyrir steypujárn eða algengustu gerðir af þakplötum og það er óverulegt af öðru sem flokkast frá.

4.6.3.3 *Launakostnaður*

Launakostnaður (sjá viðauka 1) við að rífa hús er svipaður hvort sem unninn er steypumulningur eða fylliefni, launakostnaður við vinnslu malar úr námu er mun lægri.

4.7 **Helstu niðurstöður**

- Vinnsla eins rúmmetra af steypumulningi er verulega dýrari en samsvarandi vinnsla malar í veg.
- Þegar verið er að rífa hús er það lítill viðbótarkostnaður að vinna steypumulning úr steypunni og sé hægt að selja hann þá er það þess virði að kanna hagkvæmni þess nánar.

4.8 **Umræður**

Hér að ofan er ekki tekið á ýmsum þáttum; sem dæmi má nefna huglæga þætti eins og ímynd og ímyndarsmíð fyrirtækis. Hvers virði er það í viðskiptavild að fá á sig gott orð í umhverfismálum?

Hvers virði er það fyrir okkur, metið í krónum og aurum, að eiga eftir einn rúmmetra af ósnortinni mól í námu?

Ekki er reynt að taka á mismunandi rykmyndun við ferlin.

Heimildir um frostþol steypumulnings í burðarlagi í veg (O'Mahony o.fl., 1994) benda til þess að hægt sé að nota hann í veg.

Við heimildaleit fundust ekki heimildir um endingu vegar þar sem steypa er burðarefni, svo ákveðið var að gera ráð fyrir sömu endingu slíks vegar og vegar með hefðbundnu malarefni sem undirlagi..

Vegna núverandi kerfis er ekki hagkvæmt að nota steypuúrgang í vegagerð. Væri hins vegar sami verktaki í því að brjóta niður hús og byggja upp vegi á sama tíma á svipuðum stað myndi þetta borga sig fyrir hann, eða ef hann gæti losað sig við mulninginn í nágrenninu í stað þess að keyra á tipp. Einnig gæti borgað sig fyrir verktaka að vera með upplýsingakerfi þannig að sá sem vantar burðarefni geti séð hvort verið sé að rífa húsnæði í nágrenninu og þeir þá komið sér saman um verð á burðar- og/eða fyllingarefni.

Það er betra að endurnýta en endurvinna og betra að endurvinna en farga á tippum eða öðrum förgunarstöðum. Því væri betra að hafa steypueiningar þannig að hægt væri að taka þær sundur og setja saman á ný í nýja byggingu. Þetta er lítið eða ekki iðkað í dag. Ekki er hægt að gefa afgerandi svar um hvað skuli gera við steypuúrgang; út frá umhverfissjónarmiði væri sennilega best að búa til steypumulning til að ná steypujárni til endurvinnslu og nota steypumulninginn þar sem styst væri að fara með hann hvort sem það væri í veg eða sem fylliefni í Höfnina eða annars staðar.

4.9 Forsendur

Náma

Gert er ráð fyrir námu þar sem hvorki þarf að sprengja efni né dæla því úr sjó, en hvort um sig hefur nokkur umhverfisáhrif.

Niðurbrot húss

Í útreikningum er gert ráð fyrir því að steypa úr húsnæði sé 1000 m³ og að timbur og málmar og gler séu þar fyrir utan. Gámar eru alltaf fylltir áður en þeir eru fjarlægðir til losunar en aldrei fluttir hálffullir. Gert er ráð fyrir að timbur, málmar og gler fari í öllum tilvikum til viðeigandi aðila og meðhöndlunar.

Vegagerðarefni; mól og steypumulningur

Gert er ráð fyrir að 80% af steypu fari í vegagerð en 20% á tipp þar sem steypa er á annað borð nýtt til vegagerðar.

Flutningar

Að allir bílar sem eru notaðir í verkinu séu sams konar, alltaf 12 m³, og að alltaf séu fluttir fullir bílar en tómir til baka. Að vegalengdin sé 5 km á tipp Hafnarinnar en 9 km innanbæjar, þ.e. til nýtingar í vegagerð, og 25 km í námu. Kostnaðartölur voru unnar út frá heimildum frá vörubílstjórum og er inni í þeim þungaskattur, virðisaukaskattur, afskriftir og eðlilegur hagnaður.

Aðrar forsendur koma fram í viðauka 1.

4. FRÁ RÁÐSTEFNUNNI „VISTVÆN BYGGINGARSTARFSEMI“

5.1 Inngangur

Þann 14. nóvember var haldin ráðstefna um „*Vistvæna byggingastarfsemi*“. Á meðal þess efnis sem kynnt var á ráðstefnunni voru niðurstöður verkefnisins um „*Byggingarúrgangur á Íslandi*“. Auk þáttakenda verkefnisins stóðu umhverfisráðuneytið, Samband íslenskra sveitarfélaga, Samtök iðnaðarins, Arkitektafélag Íslands, Verkfræðingafélag Íslands og Tæknifræðingafélag Íslands að ráðstefnunni.

Tilgangur ráðstefnunnar var að kynna hugtakið vistvænn byggingariðnaður, fjalla um stöðu vistvæns byggingariðnaðar á Íslandi og fá fram umræður um málefnið. Það er ljóst að Íslendingar eru áratug á eftir öðrum þjóðum Evrópu hvað varðar þessi mál og var ráðstefnan hugsuð sem tilraun til að koma umræðunni af stað. Það hefur sýnt sig að efnahagslegur ávinningur getur verið mikill af því að stunda vistvæna byggingarstarfsemi og nú þegar er til mikið af upplýsingum um besta verklagið í þeim efnum, sem við eigum greiðan aðgang að.

Viðfangsefni ráðstefnunnar var allt ferlið frá hönnun til niðurrifs, hvernig samstarf hönnuða og framkvæmdaraðila þarf að vera til að ná markmiði um vistvænan byggingariðnað á Íslandi og hvaða hlutverki opinberir aðilar gegna til að ná því fram.

Haldin var málstofa sem bar heitið „*Í upphafi skal endinn skoða*“. Þar var fjallað um hlutverk ríkis og sveitarfélaga um skipulagsmál sem varða vistvæna byggingarstarfsemi, þar með talda efnistöku og losun úrgangs, framkvæmd á flokkun byggingarúrgangs og framkvæmd og aðferðir við meðferð byggingarúrgangs á byggingarstað, hvort sem um ræðir niðurrifsverk eða nýbyggingar. Heiti málstofunnar vísar til þess að strax á skipulags- og hönnunarstigi er nauðsynlegt að huga að því hvernig best er að haga endurnýtingu og endurvinnslu á þeim mannvirkjum sem fyrirhugað er að reisa.

Verkefnishóp þessa verkefnis þótti tilvalið að koma niðurstöðum frá málstofunni til skila hér. Ástæðan er sú að þar var helsta umfjöllunarefnið hvernig hægt er að koma niðurstöðum verkefnisins áfram til hagsmunaaðila.

Hér á eftir verður gerð grein fyrir því helsta sem fram kom í málstofunni. Málstofan var tvískipt. Fyrst voru flutt fjögur framsöguerindi frá sjónarhóli skipulagsyfirvalda, sveitarfélaga, endurvinnslustöðva og verktaka. Í seinni hluta málstofunnar var hópvinna, AIR-OPERA (skammstöfun sem stendur fyrir *Analysis, Ideas, Results, Own thoughts, Pair thoughts, Explain, Ranking, Arrange*) þar sem leitað var svars við spurningunni: *Hvernig fáum við fyrirtæki til að flokka byggingarúrgang?*

5.2 Framsöguerindi

Fyrstur flutti Stefán Thors, skipulagsstjóri ríkisins, erindi sem hann nefndi: „Förgunarsvæði í skipulagsáætlunum“. Í erindi sínu fjallaði Stefán m.a. um hvernig urðunar- og brennslustaðir eru ákveðnir í skipulagi með gerð svæðis- aðal- og deilíáætlana. Í svæðisskipulagi er gerð grein fyrir þeim svæðum þar sem heimilt er að farga sorpi og öðrum úrgangi. Í aðalskipulagi er gerð nánari grein fyrir þessum svæðum, t.d. hvað varðar staðsetningu og stærð. Í deiliskipulagi er staðsetning og stærð sorpförgunarstaða síðan nánar tiltekin. Þar er m.a. lýst landslagi, efnismagni, vinnslutíma, landmótun og frágangi þeirra.

Það vill loða við að enginn vill sorp eða úrgang í næsta nágrenni við sig. Það eru mörg dæmi þess að nágrannasveitarfélög sameinast við gerð skipulagsáætlana gagnert til að samnýta urðunarsvæði. Hins vegar gengur mjög illa að finna lausn á því. Oftar en ekki er málið sett í nefnd og því sem næst dagar þar uppi þar til allt stefnir í óefni. Þess eru dæmi að matsferlið kosti meira en sjálf framkvæmdin.

Með nýju umhverfislögunum sem nú eru til umfjöllunar er gert ráð fyrir því að úrgangur verði meðhöndlaður þannig að endurnýting og -vinnsla verði sem mest og förgun sem minnst. Í nýlegri úttekt OECD er lögð til heildarlöggjöf um fyrirkomulag sorpmála, aukna ábyrgð framleiðenda og að gengið verði frá starfsleyfum fyrir sorpurðunarstaði sem fyrst.

Stefán Gíslason, framkvæmdastjóri Staðardagskrár 21, ræddi um „*Hlutverk sveitarfélaga – skipulagsmál sem varða vistvæna byggingarstarfsemi*“. Í skipulags- og byggingarlögum er hvergi minnst á vistvæna byggingarstarfsemi, þ.e. skilgreiningu vantar. Förgun úrgangs er lögbundið hlutverk sveitarfélaga. Í frumvarpi til laga um meðhöndlun byggingarúrgangs, sem liggur fyrir þingi, er lítið fjallað um byggingarúrgang en nánari ákvæði verða sett í reglugerðir. Síðan varpaði Stefán fram þeirri spurningu hvort vistvæn byggingarstarfsemi fæli í sér að byggingarúrgangur væri endurnýttur og -unninn, þ.e. lítið sem ekkert væri eftir til að farga.

Stefán kynnti síðan Staðardagskrá 21, en það er velferðaráætlun þar sem fléttaðir eru saman vistfræði-, efnahags- og félagslegir þættir. Hugmyndafræði hennar kallar á ný viðhorf þar sem áhersla er lögð á heildarsýn og vistferilnálgun og hringrás er sett ofar gegnumstreymi. Með öðrum orðum er áherslan lögð á margnota hluti fremur en einnota og fyrirbyggjandi aðgerðir eru efst á forgangslistanum. Afleiðing þessa er minnkandi áhersla á BÚ sem slíkan, en aukin áhersla á vistferil bygginga, allt frá hönnun til úrgangsmeðhöndlunar. Samkvæmt þessari hugmyndafræði er besta leiðin til að meðhöndla úrgang sú að forðast að úrgangur verði til, næstbest er síðan endurnotkun og endurvinnsla en brennsla er neyðarúrræði.

Erfitt er að hafa áhrif á magn þess BÚ sem fellur til í gegnum skipulagsáætlanir en væri e.t.v. hægt með byggingarskilmálum í deiliskipulagi. Leggja ætti áherslu á að nota endingargott efni og efni sem er auðvelt að endurnýta eða -vinna og lágmarka notkun skaðlegra efna. Í þessu

skiptir góð fyrirmynd höfuðmáli. Stefán benti einnig á að íslensk byggingarefni væru þess eðlis að möguleikar á endurnýtingu væru takmarkaðir hérlandis. Næsti kostur væri endurvinnsla en þá er um leið verið að „fara niður“ í gæðum. Frumkvæði sveitarfélaga skiptir máli.

Umræða um skaðleg efni í byggingarúrgangi er lítil hérlandis og fannst Stefáni það merki um ákveðið sinnuleysi í þessum málaflokki. Staðardagskrá 21 kallar á úrbætur í þessum efnunum.

Í stuttu máli er lagarammi um förgun úrgangs víður. Þessi málaflokkur er á ábyrgð sveitarfélaga og vilji, metnaður og frumkvæði þeirra skiptir því mestu. Staðardagskrá 21 kallar á vistferilnálgun, þ.e. frá úrgangi til heildarsýnar. Segja má að úrgangur sé hráefni á villigötum.

Næst flutti Ásmundur Reykdal, rekstrarstjóri endurvinnslustöðva Sorpu, erindið: „Byggingarúrgangur frá endurvinnslustöðvum“. Í erindi sínu fjallaði Ásmundur um það sem snýr að Sorpu, en sá byggingarúrgangur sem Sorpa tekur á móti kemur fyrst og fremst frá íbúum þeirra sveitarfélaga sem fyrirtækið þjónar. Sorpa rekur átta móttökustöðvar og móttaka er yfirleitt gjaldfrí.

Sorpa tók þátt í fyrsta hluta verkefnisins um byggingarúrgang á Íslandi. Starfsmenn fyrirtækisins skráðu magn og gerð þess byggingarúrgangs sem komið var með á móttökustöðvar Sorpu. Niðurstöðurnar eru birtar í fyrri skýrslunni sem kom út í september 2001 (Edda Lilja Sveinsdóttir o.fl., 2001). Á meðal þess sem kom í ljós var að Sorpa tekur einungis á móti 0,2% af heildarmagni þess BÚ sem fellur til á höfuðborgarsvæðinu. Sorpa sendir málma til Furu til endurvinnslu. Allt timbur, bæði litað og ólitað, var kurlað niður og notað í Járblendiverksmiðjunni á Grundartanga en vegna títanmengunar fer nú eingöngu ólitað timbur í þann farveg. Litað timbur er kurlað og urðað.

Athugun Sorpu á magni og gerð BÚ var gerð áður en Hólmsheiðartippurinn var opnaður og þá tók Gufunestippurinn við öllu sem ekki fór í Sorpu en eftir að Gufunestipp var lokað hefur magn BÚ til urðunar í Álfsnesi aukist.

Förgunarsvæðið á Hólmsheiði er 20 hektarar og tekur ca. 1,2 milljónir m³. Ráðgert var að hann entist í fimm ár en líftími hans verður sennilega skemmri. Heilbrigðiseftirlitið og Reykjavíkurborg hafa sett ákveðnar reglur um hvað má fara á hann og hvað ekki, t.d. má ekki losa þar gler og postulín. Tilgangurinn er að svæðið verði snyrtilegt.

Álfsnes endist sennilega í átta ár til viðbótar. Þar er þekjuefni hins vegar á þrotum og þarf bráðlega að keyra það að. Ásmundur varpaði fram þeirri spurningu hvort skikka ætti menn til að fara með jarðvegsúrgang á staði þar sem hann nýtist, t.d. á Álfsnes, í stað þess að flytja allt á Hólmsheiði.

Í Danmörku er rekið fyrirtæki sem tekur á móti ýmsum tegundum af BÚ gegn gjaldi. Efnið er síðan endurunnið og selt. Eins eru dæmi þar um

nytjamarkaði þar sem seldir eru notaðir hlutir, t.d. gamlar hurðir, vaskar, hlið og annað sem flokkast sem byggingarúrgangur en er „fallegt“ og nýtilegt. Er markaður fyrir slíkt hér eða eru aðstæður á Íslandi aðrar en erlendis hvað þetta varðar? Byggingaraðilar endurvinna að einhverju leyti það efni sem þeir grafa upp og fyrirtæki sem selja gróðurmold gera það að einhverju leyti líka.

Að lokum benti Ásmundur á að það vantar greinargóða skráningu á því hverjir eru að gera hvað í þessu samhengi, það þarf að bæta upplýsingaöflun um BÚ.

Síðasta framsöguerindið flutti Helgi Maronsson, verkefnisstjóri hjá Íslenskum aðalverktökum: „*Reynsluheimur fargara*“. ÍAV er 50 ára fyrirtæki sem hefur byggt mikið og fargað miklu. Á þessum 50 árum hefur ÍAV framleitt malbik og steypu. Áður fyrr var ekki hugað sérstaklega að förgun og má segja að þá hafi verið gert það sem ekki var á annað borð bannað, malbikstankar t.d. tæmdir beint út í náttúruna, en í dag er aðeins gert það sem má, t.d. reynt að nýta malbiksfræs, farið með steypuafganga á jarðvegstípp og málma í móttökustöðvar brotamálma.

Mikið af vinnu ÍAV hefur verið fyrir varnarliðið, bæði uppbygging og niðurrif. Við niðurrif fyrir varnarliðið er farið fram á förgunarátætlun þar sem m.a. er tiltekið hvað á að endurnýta, hverju á að farga og hvernig. Strangt eftirlit er með því að áætluninni sé fylgt, sérstaklega hvað varðar spilliefni. Sömu sögu er ekki að segja um vinnu fyrir innlenda aðila.

ÍAV er stöðugt í uppgreiftri. Fyrirtækið er með námarekstur í Stapafellinu og er næstum því búið að nema allt fellið á brott. Allt efni úr námunni er nýtt.

Helgi spurði hvort það væri raunhæfur möguleiki að íslenskur byggingariðnaður yrði vistvænn. Með því var hann fyrst og fremst að taka mönnum vara við því að fara á flug í reglugerðum, heldur yrði að taka mið af því sem er raunhæft í verki. Hann lagði áherslu á að byggingariðnaðurinn yrði að sjá sér efnahagslegan hag í slíku. Sennilega væri farsælast ef iðnaðurinn tæki málið í sínar hendur, yrði virkur í mótun reglna, setti sér skýr markmið og stjórnaði málum sjálfur. Gæðastjórnun væri gott tæki til árangurs þar sem tekið er á ábyrgð, valdi, rekjanleika og skýrum verklagsreglum.

Að lokum ræddi Helgi um sorpbrennslu. Tækni við hana hefur fleygt mikið fram og spurning hvort brenna ætti sorp og nýta til orkuvinnslu í stað þess að urða það.

Í fyrirspurnum og umræðum var fyrst og fremst rætt um spilliefni, förgun á flúorperum og lagnir úr PVC.

5.3 AIR-OPERA

Í seinni hluta málstofunnar var notuð aðferðin AIR-OPERA (sbr. skýringu í kafla 5.1) til að fá áheyrendur málstofunnar til að taka þátt í umræðum. Með aðferðinni er í grófum dráttum leitast við að greina tiltekið vandamál, finna hugmyndir að lausnum og að lokum aðferðir til að leysa vandann.

Hér var áherslan fyrst og fremst á hugmyndaleit. Varpað var fram spurningunni: *Hvernig fáum við fyrirtæki til að flokka byggingarúrgang?* Spurningunni var síðan svarað af öllum þátttakendum í einrúmi og síðan í hópvinnu og að lokum var völdum svörum forgangsraðað af öllum þátttakendum. Óperustjórar voru Sævar Kristinsson og Valur Bergsveinsson hjá Netspori. Niðurstöður eru birtar í töflu 5.1.1.

Tafla 5.1.1

Niðurstöður úr spurningunni: *Hvernig fáum við fyrirtæki til að flokka byggingarúrgang?* Plúsar gefa til kynna forgangs röðun þátttakenda.

a	b	c	d	e	f
Hagrænar hvatar	Ímynd	Fræðsla og þjálfun	Lagaumhverfi	Millilager	Umhverfis og gæðastefna
Arósam ++++	Bætt ímynd +++	Fræðsla og þjálfun til starfsfólks og stjórnenda = > Réttindi fargara +++	Lög, reglugerðir - sektir - eftirlit ++	Fjölgun geymslustaða +	Mótun umhverfis- og gæðastefnu +
Umbun vegna flokkunar og nýtingar +	Skapa jákvæða umræðu og veita viðurkenningar +		Gjaldskylda fyrir förgun byggingarúrgangs +		Gæðakerfi fyrirtækisins - hvati - fjárhagslegur ávinningur +
			Skynsamleg löggjöf og gjaldtaka +		
			Setja kröfu um flokkun í útboðsgögnum -Vegagerðin, Landsvirkjun o.s.frv. +		

Aðrar hugmyndir sem komu fram: 1) Nota „gulrót“ (þannig að þeim sem flokka sé umbunað fyrir það á einhvern hátt). 2) Bæta tækni og vinnuaðferðir. 3) Efnahagslegir hvatar – stórar „gulrætur“ sbr. millilager. 4) Hafa skýr lög og reglur og beita eftirliti og viðurköllum auk samráðs við framkvæmdaaðila um útfærslu. 5) Setja lög um flokkun byggingarúrgangs sem gerir fyrirtæki skyld til flokkunar.

6. SAMANTEKT OG FRAMTÍÐARMÖGULEIKAR Á ÍSLANDI

6.1 Samantekt

Í þessum kafla eru teknar saman helstu niðurstöður úr köflum 1–4 og ályktanir verkefnishópsins dregnar fram.

6.1.1 Helstu vandamál varðandi endurvinnslu BÚ í Evrópu

- Eins og er gerir léleg flokkun byggingarúrgangs endurvinnslu efnisins einatt erfiða.
- Almennt virðist vanta arðsemisútreikninga vegna endurvinnslu byggingarúrgangs.
- Helsti hvatinn er að komast hjá háum gjöldum við að keyra í burtu og farga byggingarúrgangi.
- Endurvinnsla getur verið mengandi, bæði vinnslan og tilheyrandi flutningar.
- Gera þarf auknar kröfur um eftirlit á framkvæmdatíma þegar endurunnið efni er notað.

6.1.2 Almennt um reynslu af notkun BÚ í vegagerð

Takmarkanir:

- Kröfur og reglur um vinnslu á endurunnu efni og eiginleika endurunnins efnis eru af skornum skammti. Núgildandi staðlar, kröfur og reglugerðir taka ekki mið af notkun endurunnins efnis í vegagerð.

Reynsla:

- Góð reynsla er af því að nota malbik á ný í ýmsar gerðir malbiks.
- Í Evrópu eru mörg dæmi um notkun á endurunninni steypu, sem er fyrst og fremst notuð í uppfyllingar og vegagerð, bæði í efri og neðri burðarlög.
- Það getur verið kostur að endurunnin steypa er oft ekki fullhörðnuð, einkum þegar hún er notuð í burðarlög vega, því hörðnun getur haldið áfram og styrkur efnisins vex með tímanum. Dæmi eru um að styrkur burðarlags geti allt að því tvöfaldast á tveggja ára tímabili. Einnig eru dæmi um að þörf sé á minna magni efnis.

6.1.3 Almennt um reynslu af notkun BÚ í steinsteypu

Takmarkanir:

- Ekki er mælt með því að nota finefni sem samanstandur af endurunnu efni.
- Endurunnið efni hefur hingað til ekki verið tekið með í evrópskum fylliefna- og steypustöðlum vegna margbreytileika efnisins. Þess vegna hefur þurft að rannsaka sérstaklega, í hverju landi fyrir sig, endurinna steypu sem fylliefni í nýja steypu. Hins vegar er núna verið að breyta nokkrum staðlaröðum til þess að ná yfir endurunnin efni líka.

Reynsla af steypugæðum:

- Rannsóknir hafa sýnt að endurunnið steinefni minnkar styrk steypunnar, en hægt er að framleiða steypu með sama styrk og hefðbundin steinefni, sé magn sements aukið. Það er hins vegar kostnaðarsamt.
- Sýnt hefur verið fram á að eiginleikar upphaflegu endurunnu steypunnar, einkum sementsefjunnar, hafa afgerandi áhrif á eiginleika endurunna efnisins. Vatnsdrægni og eðlismassi eru þeir eiginleikar endurunna steinefnisins sem mestu máli skipta ef nota á efnið í steypu. Endurunnið steinefni hefur áhrif á fjaðurstuðul, skrið og rýrnun steypunnar, sem eru þættir sem skipta verulega miklu máli við hönnun ýmissa byggingarhluta.
- Rannsóknir hafa sýnt fram á lakari endingu steypu sem gerð var með endurunnu fylliefni. Til lengri tíma litið má búast við meiri rýrnun og örlítið meira skriði í steypu með endurunnu fylliefni en í steypu með náttúrulegu fylliefni. Hins vegar hefur verið sýnt fram á betra frostþol steypu með endurunnu fylliefni.

Notkun:

- Á undanförunum árum hefur mörgum tilraunaverkefnum verið hrundið af stað í Evrópu þar sem endurunnin steypa hefur verið notuð í steypu í mismunandi mannvirki. Í Hollandi, þar sem ef til vill hefur verið gert allra mest, hefur jákvæð reynsla þessara verkefna leitt til þess að hollenska vegagerðin ákvað að öll mannvirki á þeirra vegum, byggð eftir 1991, skuli innihalda 20% af endurunninni steypu. Undanskildar eru forspenntar einingar.

6.1.4 Íslenskar prófanir á endurunnu efni sem burðarlagsefni

Í hnotskurn má meta niðurstöður úr vegtæknilegum prófunum fyrir steypuna úr Söginni svo að þær séu í samræmi við erlendar niðurstöður.

Takmarkanir:

- Efnið hentar ekki í klæðingar og malbik, kvarnargildi þess er of lágt.
- Efnið stenst ekki kröfur fyrir burðarlög, Bg-stuðull og LA-gildi er of hátt.
- Efnið stenst ekki frostþolskröfur en núverandi kröfur eru ekki sniðnar fyrir endurunna steypu.

Notkun:

- Efnið uppfyllir kröfur varðandi kleyfnistuðulinn fyllilega.
- Efnið er hæft í neðra burðarlag og í efra burðarlag í vegflokka C3-D.

Niðurstaða verkefnishópsins er að nauðsynlegt sé að **gera tilraunavegakafla hÉrlendis** til að fá úr því skorið hvort unnt sé að nota þetta efni til vegagerðar en hér eru engar kröfur til um endurunnið efni í veg og reynsla erlendis sýnir að styrkur endurunninnar steypu getur vaxið með tímanum vegna endurhörðunar og -bindingar sementsins.

6.1.5 Íslenskar prófsteypur úr endurunnu efni

Niðurstöður:

- Með auknu hlutfalli endurunnins efnis minnkar styrkur steypunnar, fjaðurstuðull lækkar, rýrnun eykst og frostþol verður lakar, a.m.k. ef endurinnið efni er > 30%.
- Ekki er marktækur munu á vatnsdrægni og alkalíþenslum.

Fyrirvarar:

- Niðurstöður mælinga hverju sinni eru háðar gerð og gæðum endurunnu steypunnar. Í verkefninu var steypan t.d. með lélegt loftkerfi og veðrunarþol því lélegt.
- Mælingar á þrýstipoli endurspeglar styrk endurunnu steypunnar. Því er líklegt að steypa með fylliefnum úr hástyrkleikasteypu hefði aðra eiginleika varðandi styrk, fjaðurstuðul og hugsanlega einnig rýrnun en sú steypa sem hér var mæld.

6.1.6 Samantekt um vistferilsgreiningu

- Umhverfisáhrif þess að vinna og flytja mól og steypumulning til að nota sem burðarefni í veg voru svipuð.
- Umhverfisáhrif þess að rífa hús og farga á tipp Hafnarinnar eru minni en umhverfisáhrif þess að rífa hús og búa til og flytja steypumulning til að nota sem burðarefni í veg.
- Ef gert er ráð fyrir því að það þurfi 40% minna burðarefni ef steypumulningur er notaður, breytast ofangreindar ályktanir samsvarandi. Um prósentutölur, sjá nánar í kafla um vistferilsgreiningu.
- Sé gert ráð fyrir að húsið þurfi að rífa hvort sem er og að þess vegna séu umhverfisáhrif þess að rífa húsið og farga á tipp ekki hluti af því að vinna steypumulning og sé gert ráð fyrir því að við að vinna steypumulning sparist umhverfisáhrif vegna vinnslu og flutnings malar, þá er það jákvætt fyrir umhverfið að nýta steypumulninginn, sjá mynd 4.5.3 Vf 2–(Vf 3 og Vf 1).
- Umhverfisáhrif þess að endurvinna steypujárnið eru verulega mikil og skipta meira máli en það hvað er gert við steypuna.

6.1.7 Samantekt um kostnaðargreiningu

- Breytilegur framleiðslukostnaður eins rúmmetra af steypumulningi er verulega miklu hærra en samsvarandi kostnaður fyrir mól í veg.
- Breytilegur framleiðslukostnaður þess að framleiða fylliefni í Höfnina er lægri en breytilegur framleiðslukostnaður þess að framleiða steypumulning.
- En þegar gert er ráð fyrir að það þurfi að rífa húsið og farga því og að kaup og flutningur á mól til vegagerðar sparist ef steypan sé nýtt í steypumulning þá virðist vera hagkvæmt að endurvinna steypumulninginn.

6.2 Framtíðarmöguleikar á Íslandi

Eins og kom skýrt fram í umræðum á ráðstefnunni 14. nóv. 2002 (sjá kafla 5.3) eru hagrænir hvatar lykilatíði til að fá fyrirtæki til að flokka (og nýta) byggingarúrgang héraðs. Notkun byggingarúrgangs mun einnig bæta ímynd fyrirtækja og hlýtur það að vera hvetjandi. Mikilvægt er væntanlega að skora á verktaka í þessu sambandi. Haustið 2002 hófst verkefnið „Nýting byggingarúrgangs – námskeiðsgögn fyrir byggingariðnaðinn“, sem styrkt er af Íbúðalánasjóði. Þátttakendur eru: Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Menntafélag byggingariðnaðarins, Samtök iðnaðarins og Íslenskir aðalverktakar. Markmið verkefnisins er að útbúa námskeiðsgögn sem Menntafélag byggingariðnaðarins mun síðan nýta sér í framtíðinni og miðar að því að kenna fyrirtækjum í byggingariðnaði að flokka og endurnýta byggingarúrgang. Vegna þess að hefðin er ekki til staðar hér á landi er mikilvægt að byrja á byrjuninni og uppfæra viðkomandi aðila um þá möguleika sem til eru við endurnýtingu og endurvinnslu. Þess er vænst að námskeiðið muni nýtast sem flestum verktakafyrirtækjum á næstu misserum.

Í tengslum við áframhaldandi R&D og framtíðarmöguleika héraðs skipta eftirfarandi þættir máli:

Stærð markaðarins – framboð á efni og breytingar á næstu árum

Íslenskur markaður er smár, lítið um niðurrifsverkefni og á heildina lítið tiltölulega gott aðgengi að nýju og góðu steinefni. Það þarf nægilega mikið framboð af gamalli steypu til að endurvinnsla sé arðbær. Auk þess þarf að vera ákveðið lágmarksframboð af efni til að hægt sé að gera ráð fyrir því í útboðum og hönnun. Því er óvíst að hagkvæmt sé að endurvinna mikið af byggingarúrgangi eins og aðstæður eru í dag. Hins vegar býr stór hluti þjóðarinnar á suðvesturhorni landsins og skekkir það myndina nokkuð, t.d. varðandi aðgengi að steinefni. Ljóst er að flutningsvegalengdir eru miklar og gætu aukist og eins getur förgun orðið vandamál. Slíkt breytir öllum forsendum og endurvinnsla gæti því orðið þjóðhagslega mjög hagkvæm eftir einhver árum eða áratugi.

Gera má ráð fyrir því að niðurrifsverkefnum fjölgi á næstu árum og áratugum og þá er gott að eiga niðurstöður og reynslu í handraðanum, t.d. af tilraunavegarkafli.

Hagrænir hvatar

Skattar og gjöld á förgun eru mjög takmarkaðir. Sömu sögu er að segja um nýtingu á nýju hráefni – þar er aðgengið á flestum stöðum gott og engin sérstök gjöld sett á nýtingu nýrra steinefna (utan námagjalds). Eins og skýrt kom fram á ráðstefnunni um vistvæna byggingarstarfsemi eru það einmitt þessir hagrænu hvatar sem leiða til þess að fyrirtæki flokka og nýta byggingarúrgang.

Kröfur og reglugerðir

Ljóst er að núverandi aðferðir við mælingar á efniseiginleikum og tæknilegum eiginleikum henta ekki alltaf fyrir endurunnið efni. Þetta á sérstaklega við um fínefnið. Hefur þetta leitt til þess að kröfur og reglur eru af mjög skornum skammti. *Þetta takmarkar notagildi endurunnins efnis. Með gerð tilraunavegarkafla með endurunninni steypu mun þetta væntanlega breytast.*

Nokkur evrópsk lönd hafa þróað sínar eigin reglugerðir um notkun á endurunninni steypu í nýja steypu. Nauðsynlegt er að fylgjast með þessari þróun og að íslenskar reglugerðir, aðlagðar okkar aðstæðum, fylgi henni.

Skaðleg efni

Viða erlendis hafa skaðleg efni í byggingarúrgangi verið rannsökuð. Hér er fyrst og fremst um að ræða PCB, sem hefur verið notað m.a. í þéttiefni í glugga og sem íblöndunarefni í steypu og múr. Þetta er mál sem þyrfti að grandskoða hérlendis, bæði í tengslum við förgun og hugsanlega endurvinnslu byggingarúrgangs.

Sjálfbær þróun

Það sem hefur knúið flest Evrópulönd til að endurnýta byggingarúrgang eru gjöld sem lögð hafa verið á losun hans og einnig gjöld sem eru lögð á töku steinefna úr námum. Auk þess búa þessi lönd oft við skort á fylliefnum. Engar þessara aðstæðna eiga við hér á landi. Hinu má ekki gleyma, hvort sem það er orsök eða afleiðing, að stóraukin pólitísk áhersla er á umhverfismál og er þá helst að nefna „sjálfbæra þróun“ og hefur Ísland skuldbundið sig til þess að taka þátt í þeirri stefnu. Það hefur gerst hérlendis á síðustu 5–10 árum og hafa yfirvöld verið að ná áttum í þeim málum.

Í tengslum við mótun framtíðarsýnar Íslendinga í anda sjálfbærrar þróunar hefur umhverfisráðherra nýlega gefið út rit sem ber titilinn „Velferð til framtíðar“. Sjálfbær þróun í íslensku samfélagi – Stefnumörkun til 2020. Í kafla um minnkun og bættu meðhöndlun úrgangs er sagt að tvenns konar markmið náist með því að draga úr úrgangi og stuðla að ábyrgri meðhöndlun; annars vegar er dregið úr hættu á mengun umhverfisins og hins vegar er dregið úr sóun á verðmætum og landrými til urðunar. Varðandi bættu meðferð byggingarúrgangs er sagt að átak verði gert í að endurnýta byggingarúrgang, s.s. steypu og jarðefni. Er það von skýrsluhöfunda að það gangi eftir og hefur hér verið bent á nokkrar aðferðir sem gætu stuðlað að því.

ÞAKKARORÐ

Þakkir hljóta eftirtaldir aðilar sem aðstoðuðu við vinnu þessa verkefnis:

Starfsmenn Eyktar ehf. fyrir að halda til haga steypuklumpum úr Söginni og starfsmenn Háfells ehf. fyrir að vinna efnið til prófana.

Starfsmenn á rannsóknastofu Rb fyrir vinnslu og prófanir á steypunni.

Þeir fjölmörgu sem gáfu upplýsingar í kaflann um vistferil- og kostnaðargreiningar.

Ingrid Markan fyrir íslenskuyfirlestur og starfsmenn Rb þeir Pétur Pétursson, Björn Marteinson og Jón Sigurjónsson fyrir yfirlestur og þarfar ábendingar og Sigrún Pétursdóttir fyrir uppsetningu skýrslunnar.

7. HEIMILDIR

Ajdukiewicz, A. & Kliszczewicz, A., 2002: *Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC*. Cement & Concrete Composites 24 (2002) 269–279.

Arm, M., 2001: *Self-cementing properties of crushed demolished concrete in unbound layers: results from triaxial tests and field tests*. Waste Management 21 (2001) 235–239.

ASTM 1982: ASTM C 457–82 “Microscopical determination of air-void content and parameters of the air-void system in hardened concrete”.

ASTM 1993: ASTM C 157–93 “Standard test method for length change of hardened hydraulic-cement mortar and concrete”. Annual Book of ASTM Standards 04.02.

ASTM 1994: ASTM C 1260–94 “Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (mortar-bar method)”. Annual Book of ASTM Standards 04.02.

ASTM 1994: ASTM D 1883–94 “Test method for CBR (California Bearing Ratio) of laboratory-compacted soils”. Annual Book of ASTM Standards 04.08.

ASTM 1997: ASTM C 566–97 “Test method for total moisture content of aggregate by drying”. Annual Book of ASTM Standards 04.02.

ASTM 1998_a: ASTM D 698-91 (1998) “Test method for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort (600 kN·m/m³)”. Annual Book of ASTM Standards 04.08.

ASTM 1998_b: ASTM D 1557-91 (1998) “Test method for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort (2700 kN·m/m³)”. Annual Book of ASTM Standards 04.08.

ASTM 1998: ASTM C 457–98 “Standard test method for microscopical determination of parameters of the air-void system in hardened concrete”. Annual Book of ASTM Standards 04.02.

Barra, M. & Vázquez, E., 1998: *Properties of concretes with recycled aggregates: Influence of properties of the aggregates and their interpretation*. International Symposium, Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregates. University of Dundee, London.

European standard, CEN: prEN 13043: 2001: *Aggregates for bituminous mixtures and surface treatments for roads and other trafficked areas*.

Edda Lilja Sveinsdóttir, Börge J. Wigum, Agnar Guðlaugsson, Ragna Halldórsdóttir, Halla Jónsdóttir, Hjalti Guðmundsson & Lúðvík Guðafsson, 2001: *Byggingarúrgangur á Íslandi – gagnagrunnur og umhverfismat. Hluti I: Magn og gerð byggingarúrgangs á Íslandi*. Rb-skýrsla nr. 01-08, september 2001, 50 bls.

European standard, CEN: prEN 12390: 2000 *Testing hardened concrete – part 3 “Compressive strength of test specimens”*.

European standard, CEN: EN 12620 *Aggregates for Concrete including those for use in roads and pavements*

European standard, CEN: EN 206-1 *Concrete – Part 1: Specification, performance, production and conformity*

European standard, CEN: EN 1097-2: 1998 *Methods for the determination of resistance to fragmentation*.

European standard, CEN: EN 932-3: 1996 *Tests for general properties of aggregates – Part 3: Procedure and terminology for simplified petrographic description.*

European standard, CEN: EN 933-2: 1995 *Tests for geometrical properties of aggregates. Part 2: Determination of particle size distribution – Test sieves, nominal size of apertures.*

European standard, CEN: EN 933-3: 1996 *Determination of Particle shape-Flakiness index.*

Föreningen för asfaltbeläggningar i Sverige, 1995: “*FAS Metoder 1995. Metodbeskrivningar för provning av stenmaterial, bituminösa bindemedel, asfaltbeläggningar och -massa. Bestämning av kulkvarnsvärde*”.

Gómez-Soberón, J.M.V., 2002: *Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate – An experimental study.* Cement and Concrete research 32 1301–1311.

Grübl & Rüh, 1998: German Committee for Reinforced Concrete (DafStb) – Code: *Concrete with Recycled Aggregates.* Contribution to the International Symposium “Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate” (www.b-i-m.de/public/tudmassiv/dundeegrueblmuehl.htm)

Gunnar Bjarnason, Halldór Torfason, Ingvi Árnason, Pétur Pétursson, Sigurður Erlingsson og Þorgeir S. Helgason, 2001: “*Tillögur verkefnishóps Efnisgæðanefndar um breytingar á Alverki*”. BUSL-skýrsla E-42. Maí 2001, 24 bls.

Hendriks, ChF. Goumans, JJM., van der Sloot, HA. & Aalbers ThG. 1994. Certification system for aggregates produced from building waste and demolished buildings. Environmental aspects of construction with waste materials., Elsevier Science. Bls. 821–834.

Hill, A. R., Dawson, A.R. & Mundy, M., 2001: Utilisation of aggregate materials in road construction and bulk fill. Resources, Conservation and Recycling 32 (2001) 305–320.

International standard 1982: ISO 6783-1982: *Coarse aggregates for concrete – Determination of particle density and water absorption – Hydrostatic balance method.*

International standard 1987: ISO 7033-1987: *Fine and coarse aggregates for concrete – Determination of the particle mass-per-volume and water absorption – Pycnometer method.*

ISO 1982: ISO 6784 “*Determination of static modulus of elasticity in compression*”.

ÍST 10: 1971: *Steinsteypa I. og II. hluti.* Staðlaráð Íslands, 32 bls.

ÍST EN 2000: ÍST EN 12350 Testing fresh concrete – part 7 “*Air content – Pressure methods*”.

ÍST EN 2000: ÍST EN 12390 Testing hardened concrete – part 5 “*Flexural strength of test specimens*”.

ÍST EN 2000: ÍST EN 12390 Testing hardened concrete – part 8 “*Depth of penetration of water under pressure*”.

Janbu N., 1970: *Grunnlag i geoteknikk.* Tapir. Tondheim Norge.

Jón Skúlason, 1995: *Rannsóknir á burðarlögum.* Almenna Verkfræðistofan, apríl 1985 – unnið fyrir Vegagerð ríkisins, 19 bls. + viðaukar.

Kikuchi M., Dosho Y., Miura T. & Narikawa M. 1998: Application of recycled aggregate concrete for structural concrete. Part 1 – Experimental study on the quality of recycled

aggregate and recycled aggregate concrete. International Symposium, Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregates. University of Dundee, London.

Kivekäs L., 2000: Lahti Motorway Load Bearing Structures Finland; Date: Summer 1998. Use of recycled material as aggregates in the construction industry, volume 2: 3&4; 2

Maultzsch M. & Mellmann G. (1998): Properties of large scale processed building rubble with respect to the reuse of aggregate in concrete. International Symposium, Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregates. University of Dundee, London.

Mroueh, U-M., Eskola P., Laine-Ylijoki, J., 2001: Life-cycle impacts of the use of industrial by-products in road and earth construction. Waste Management: 21:3 271–277.

Nordtest Method NT-Build 485, 1998: “**Aggregates: Frost resistance test using 1% NaCl**”, approved 1998-11 (UDC: 666.97,691.3; Proj.1214-95; ISSN0283-7153).

Norsk Betongforening, 1999: **Materialgjenvinning av betong og murverk for betongproduksjon**. Norsk Betongforening publikasjon nr. 26.

O’Mahony, MM., Goumans, JJM., van der Sloot, HA. & Aalbers, ThG, 1994. Frost susceptibility of recycled aggregate. Environmental aspects of construction with waste materials. Elsevier Science. Bls. 889–896.

Olorunsogo, F.T. & Padayachee, N., 2002: Performance of recycled aggregate concrete monitored by durability indexes. Cement and Concrete Research 32 (2002) 179–185.

Phillips, P., 2001: **Recycling and the Asphalt Industry**, Quarry management, Sept. 2001. Bls. 19–24.

Reid, J. M., 2000: The use of alternative materials in road construction. Paper presented at UNBARS Conference, Nottingham, UK, June 2000. 8 bls.

RILEM 1994: **Specifications for concrete with recycled aggregates**. Materials and Structures, 1994, 27, 557–559.

Rock Products, 1991: Operating Cost Survey, Report by the Editors of Rock Product, May 1991. Bls. 31–35.

Sagoe-Crentsil, K.K., Brown, T., & Taylor, A.H., 2001: **Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate**. Cement and Concrete Research 31 (2001) 707–712.

SS 1995: **SS 137244 “Betongprovning – Hardnad betong – Avflagnig vid frysning”**.

Topçu, I.B., 1997: **Physical and Mechanical Properties of Concretes Produced with Waste Concrete**. Cement and Concrete Research. 27:12 1817–1823.

Torring M., 2000: Miljø og kostnadsanalyser ved gjenvinning av betong fra RIT2000. Internal working report in Norwegian. Í: Torring M., 2001: Management of Concrete Demolition Waste. Dr.ing. thesis at The Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Applied Earth Sciences, Department of Mineral and Resources Engineering. 132 bls.

Umhverfissráðuneytið, 1997: Sjálfbær þróun í íslensku samfélagi. Framkvæmdaáætlun til aldamóta. 48 bls.

Van der Sloot, HA, 2000: Comparison of the characteristic leaching behavior of cements using standard (EN 196-1) cement mortar and an assessment of their long-term environmental behavior in construction products during service life and recycling. *Cement and Concrete Research* 30:7 1079–1096.

Vegagerðin 1995: *Alverk '95 – Almenn lýsing fyrir vega- og brúargerð*. Vegagerðin, Reykjavík, janúar 1995.

Wahlström M., Laine-Ylijoki, J. Maeaettaenen, A., Luotojaervi, T., & Kivekaess L., 2000: Environmental quality assurance system for use of crushed mineral demolition wastes in road constructions. *Waste Management* 20:2–3, bls. 225–232.

Þorgeir S. Helgason og Guðmundur Guðfinnsson, 1989: *Berggreiningarkerfi Rb, 3. útgáfa*. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, sérrit nr. 57, 1989.

Þórir Ingason, 1989: *Plötupróf til mælinga á hjöppun og burðarholi jarðvegsfyllinga*. Rb-tækniblað nr. Rb(L4).104. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, 1989.

VIÐAUKAR

Viðauki 1

Forsendur útreikninga

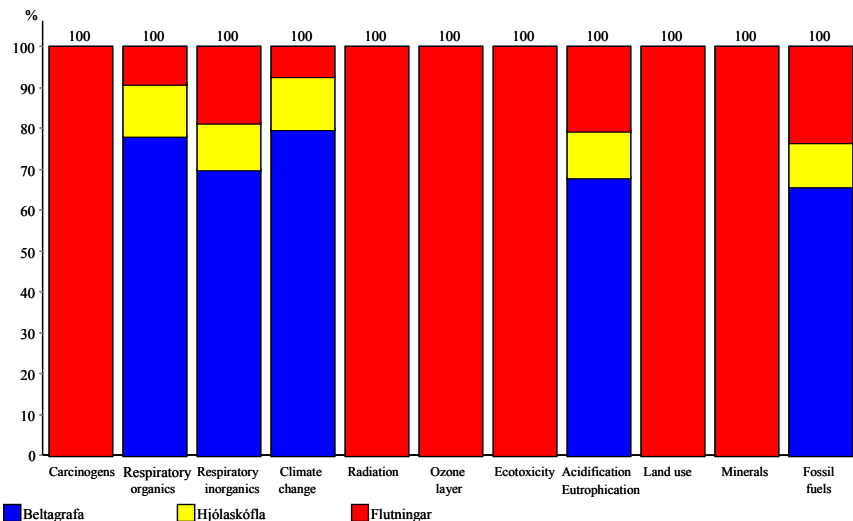
Burðarlagsefni		Fylliefni á tipp	
Möl	Steypumulningur	Steypa	
Vinnsla miðast við: athugasemd	Vinnsla miðast við: athugasemd	Vinnsla miðast við: athugasemd	
1000 m3 af burðarefninu möl	1000 m3 af burðarefninu steypumulningur	1000 m3 af byggingarsteypu	
Nýtingarhlutfall (%) 90	Nýtingarhlutfall (%) 80	Nýtingarhl. 100	
Dísilólía (ÍKR/L) 46,4	Úrgangur (%) 20		
Námuvinnsla stærstu breytilegu liðir	Niðurbrot byggingar	Niðurbrot byggingar (gróft)	
Orkunotkun	Orkunotkun	Orkunotkun	
Ýta-(L/klst) 44,5 CAT D8R	Beltagrafa-(L/klst) 36 CAT 330B	Beltagrafa- 36 CAT 330B	
Hjólaskófla-(L/klst) 23,5 CAT 966 G	Hjólaskófla-(L/klst) 23,5 CAT 966 G	Hjólaskófla 23,5 CAT 966 G	
Brjótur-(L/klst) 19 Komatsu BR350 JG	Brjótur-(L/klst) 19 Komatsu BR350 JG	Brjótur-(L/klst) 0 Komatsu BR350	
Harpari-(L/klst) 19 svípaður brjót			
Vinnustundir	Vinnustundir	Vinnustundir	
Ýta-(klst) 8	Beltagrafa-(klst) 32	Beltagrafa- 32 reynslutölur	
Hjólaskófla-(klst) 8	Hjólaskófla-(klst) 16	Hjólaskófla 16 reynslutölur	
Brjótur-(klst) 4 2 x í gegn	Brjótur-(klst) 8	Brjótur-Grç 0 reynslutölur	
Harpari-(klst) 2 1 x í gegn	Verkamenn-(klst) 240 5-6 í viku	Verkamennr 240 reynslutölur	
Launakostnaður	Launakostnaður	Launakostnaður	
Ýta-(ÍKR/klst) 1300 m. opinberum gjöld.	Beltagrafa-(ÍKR/klst) 1300 með opinberum gjöldur	Beltagrafa- 1300 með opinberum	
Hjólaskófla-(ÍKR/klst) 1300 m. opinberum gjöld.	Hjólaskófla-(ÍKR/klst) 1300 með opinberum gjöldur	Hjólaskófla 1300 með opinberum	
Harpari-(ÍKR/klst) 1300 m. opinberum gjöld.	Brjótur-(ÍKR/klst) 1300 með opinberum gjöldur	Brjótur-(ÍKR/klst) 1300 með opinberum	
Brjótur-(ÍKR/klst) 1300 m. opinberum gjöld.	Verkamenn-(ÍKR/klst) 850 með opinberum gjöldur	Verkamennr 850 með opinberum	
Verð frá malarvinnslu 205 með vsk.			
Flutningur-Frá námu	Flutningur-Frá byggingu	Flutningur-Frá byggingu	
Efni	Efni Steypa	Efni Efni á tipp	
Raunrúmmetrar(m ³) 900 90 % nýting	Raunrúmmetrar(m ³) 784 járn neikv. í veg	M3-gróft 1000	
Burðargeta bíls(m ³) 12 alg stærð vörubíla	Burðargeta bíls(m ³) 12	Burðargeta 12	
Vegalengd	Vegalengd	Vegalengd	
Upphafstaður tnskarösná: Börge	Upphafstaður Miðbær Nýbygging	Upphafstað Miðbær miðast við tjörn	
Endastöð Miðbær Kristján Óskars	Endastöð Nýbygging	Endastöð Höfnin	
Hringvegalengd-(km) 50 vatnsskarð mjóðd vatnssk.	Hringvegalengd-(km) 18 miðbær nýbyggingarveg	Hringvegal 10	
Fjöldi ferða 75	Fjöldi ferða 65	Fjöldi ferða 83	
Heildarvegalengd-(km) 3750	Heildarvegalengd-(km) 1176	Heildarveg 833	
Meðalhraði (km/klst) 50 eðlil. keyrsla	Meðalhraði (km/klst) 50	Meðalhraði 50	
Meðaltími í ferð (m) 50 eðlil. tími	Heildartími ferðar (m) 30	Meðaltími í 30	
Biðtími(mínútur) 10 biðtími samt	Heildartími verks (klst) 33	Heildartími 42	
Heildartími verks(n) 75			
Taxti-burðarefni(ÍKf) 218,67 meðalt. Upplýsinga	Taxti-steypumulningi 4509	Taxti-gróft 4509,00	
Taxti-Dagvinna (ÍKf) 1247	Taxti-Dagvinna (ÍKf) 1247	Taxti-Dagv 1247	
Orkunotkun	Orkunotkun	Orkunotkun	
Vörubíll-(L/km) 0,375 Börge/Cowi	Vörubíll-(L/km) 0,375 Börge/Cowi	Vörubíll-(L/km) 0,375 Börge/Cowi	
Launakostnaður	Launakostnaður	Launakostnaður	
Vörubíll-(ÍKR/klst) 2000	Vörubíll-(ÍKR/klst) 2000	Vörubíll-(ÍKR/klst) 2000	
Efni Annar byggingarúrgangur	Efni Annar byggingarúrgangur	Efni Annar byggingarúrgangur	
Steypujárn (tonn) 80 reynslutölur,	Steypujárn 0 reynslutölur	Steypujárn 0 reynslutölur	
Þakjárn (tonn) 2 reynslutölur	Þakjárn (tonn) 2 reynslutölur	Þakjárn (tonn) 2 reynslutölur	
Timbur (m ³) 30 reynslutölur	Timbur (m ³) 30 reynslutölur	Timbur (m ³) 30 reynslutölur	
Timbur (kg) 27000 1m3=900 kg	Timbur (kg) 27000 1m3=900 kg	Timbur (kg) 27000 1m3=900 kg	
Aðrir málmur (m ³) 70 óverulegt	Aðrir málmur (m ³) 70 óverulegt	Aðrir málmur (m ³) 70 óverulegt	
Óflokkaður úrgangur 70 reynslutölur	Óflokkaður úrgangur 70 reynslutölur	Óflokkaður 120 reynslutölur	
Óflokkaður úrgangur 21000 1m3=300 kg	Óflokkaður úrgangur 21000 1m3=300 kg	Óflokkaður 36000 1m3=300 kg	
Fyllingarefni á tipp 220 reynslutölur	Fyllingarefni á tipp 220 reynslutölur	Fyllingarefni á tipp 220 reynslutölur	
Skilgjalld á úrgangi	Skilgjalld á úrgangi	Skilgjalld á úrgangi	
timbur gjald 7,25 skilandi borgar	timbur gjald 7,25 skilandi borgar	timbur gjald 7,25 skilandi borgar	
óflokkaður úrgangur 11,42 skilandi borgar	óflokkaður úrgangur 11,42 skilandi borgar	óflokkaður úrgangur 11,42 skilandi borgar	
gler 7000 skilandi borgar	gler 7000 skilandi borgar	gler 7000 skilandi borgar	
Ál (ÍKR/kíló) 35 Fura borgar	Ál (ÍKR/kíló) 35 Fura borgar	Ál (ÍKR/kíló) 35 Fura borgar	
Ryðfritt stál (ÍKR/kíló) 15 Fura borgar	Ryðfritt stál (ÍKR/kíló) 15 Fura borgar	Ryðfritt stál (ÍKR/kíló) 15 Fura borgar	
Eir (ÍKR/kíló) 65 Fura borgar	Eir (ÍKR/kíló) 65 Fura borgar	Eir (ÍKR/kíló) 65 Fura borgar	

Viðauki 2 Útreikningar

Burðarlágsefni				Fylliefni á tipp			
Möl úr námu		Steypumulningur		Efni úr húsi (gróft niðurbrot)			
Ollukostnaður í námu		Ollukostnaður við niðurrif		Ollukostnaður við niðurrif			
Náma	ÍKR			Niðurrif byggingar	ÍKR		
Yta	16.518			Beltagrafa	53.453		
Hjólaskófla	8.723			Hjólaskófla	17.446		
Bjótur	3.526			Bjótur	7.053		
Harpani	1.763			Alls ollukostnaður	77.952	6	
Alls ollukostnaður	30.531	3		Laun og tengd gjöld			Hlutfall (%)
Laun og tengd gjöld				Laun og tengd gjöld			
Náma	ÍKR			Niðurrif byggingar	ÍKR		
Yta	0			Beltagrafa	41.600		
Hjólaskófla	10.400			Hjólaskófla	20.800		
Bjótur	5.200			Bjótur	10.400		
Harpani	2.600			Verkamenn	204.000		
Alls launakostnaður	18.200	2		Alls launakostnaður	276.800	23	
Alls kostnaður í námu	48.731			Alls kostnaður í byggingu	354.752	29	
Flutningskostnaður				Flutningskostnaður			
Flutningar				Flutningar			
Bilakostnaður	1.020.916	m.vsk		Bilakostnaður	233.904	m.vsk.	
Vinna bilstjóra	116.439	m.vsk		Vinna bilstjóra	64.688	m.vsk.	
Alls flutningskostnaður	1.137.354	96		Alls flutningskostnaður	298.593	25	
Heildarkostnaður				Förgunarkostnaður og skilagjald fyrir málna			
M³ notaðir				Förgunarkostnaður			
ÍKR/M³ (án flutnings- og				óflökkað			
ÍKR/M³ (með flutnings- o				timbur			
1.186.085				málmar			
900				Alls			
54,1				Skilagjald fyrir málna frá Furu			
1318				Sleypijám			
				Þakplötur			
				Alls			
				Alls förgunarkostnaður			
				1.209.115			
				M³ notaðir			
				784			
				ÍKR/M³ (án flutnings- og förgunarkost.)			
				452,5			
				ÍKR/M³ (flutningar)			
				1542			
				Förgunarkostnaður og skilagjald fyrir málna			
				Förgunarkostnaður			
				óflökkað			
				timbur			
				málmar			
				Alls			
				Skilagjald fyrir málna frá Furu			
				Jám			
				Þakplötur			
				Alls			
				Alls förgunarkostnaður			
				762.770			
				57			
				Heildarkostnaður			
				1.339.903			
				M³ notaðir			
				1000			
				ÍKR/M³ (án flutnings- og förgunarkost.)			
				337			
				ÍKR/M³ (flutningar)			
				1339,9			

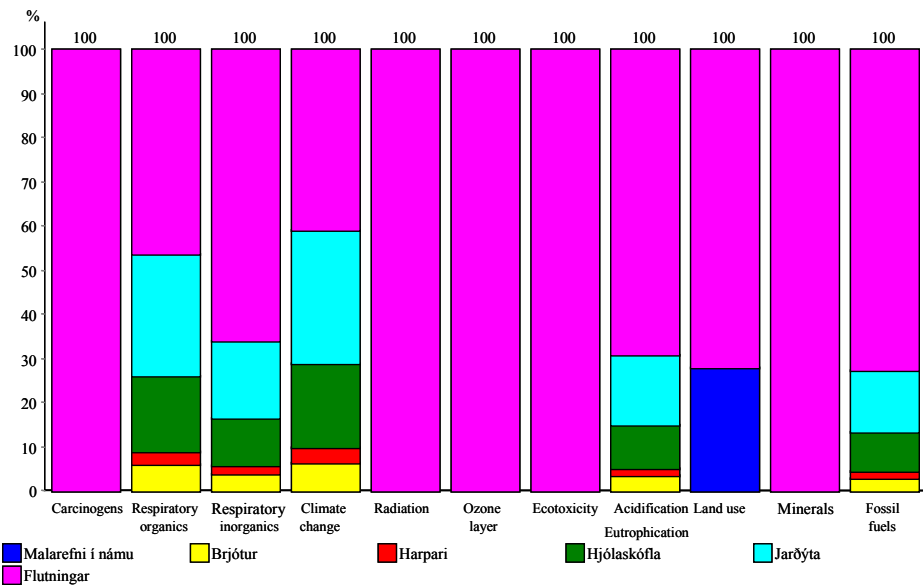
Viðauki 3

Hlutfallslegt vægi hinna mismunandi þátta á umhverfisáhrif við Vf3, við vinnslu og flutning fylliefnis í höfnina



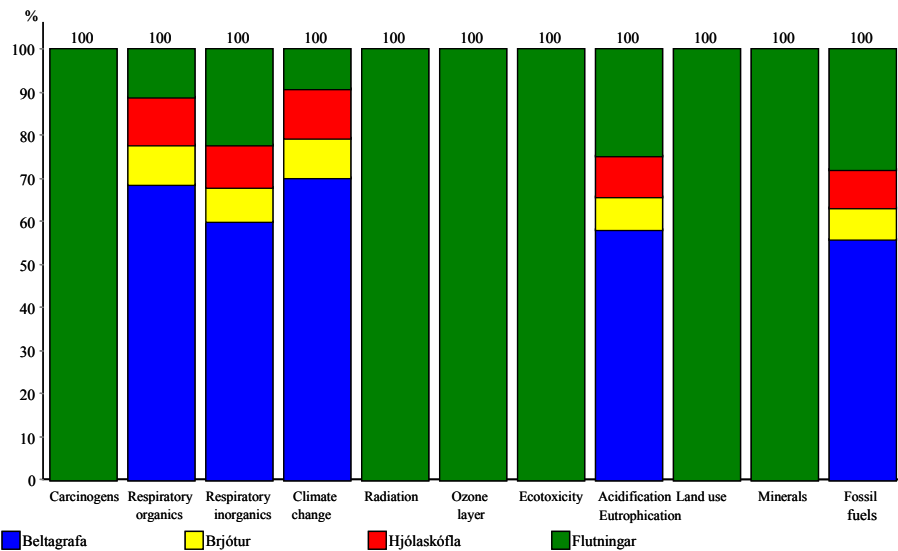
Analyzing V3, fylliefni í höfnina; Method: Eco-indicator 99 (E) / Europe EI 99 E/E / characterization

Byggingarúrgangur á Íslandi – gagnagrunnur og umhverfismat Hluti II og II



Analyzing Vf1 mól; Method: Eco-indicator 99 (E) / Europe EI 99 E/E / characterization

Hlutfallslegt vægi hinna mismunandi þátta á umhverfisáhrif við Vf2, vinnslu og flutning steypumulnings



Analyzing Vf2, steypumulningur; Method: Eco-indicator 99 (E) / Europe EI 99 E/E / characterization