

ENDURVINNSLA FRÁLAGSEFNA Í VEGAGERÐ

30.04.2019



SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ

SKJALALYKILL

2970-287-SKY-001-V01

SKÝRSLUNÚMÉR / SÍÐUFJÖLDI

01 / 22

VERKEFNISSTJÓRI – FULLTRÚI VERKKAUPA

Þórir Ingason
Ásrún Rudolfsdóttir
Þorbjörg Sævarsdóttir

VERKEFNISSTJÓRI – EFLA

Þorbjörg Sævarsdóttir

LYKILORÐ

STAÐA SKÝRSLU

- Í vinnslu
 Drög til yfirlstrar
 Lokið

DREIFING

- Opin
 Dreifing með leyfi verkkaupa
 Trúnaðarmál

TITILL SKÝRSLU

Endurvinnsla frálagefna í vegagerð

VERKHEITI

Endurvinnsla frálagefna í vegagerð

VERKKAUPI

Vegagerðin
Vegagerðin
EFLA

HÖFUNDAR

Tinna Húnbjörg Einarsdóttir
Friðrik Klingbeil Gunnarsson
Rob Kamsma
Þorbjörg Sævarsdóttir

ÚTDRÁTTUR

Í þessu verkefni eru straumar sex mismunandi úrgangsflokka skoðaðir ásamt möguleikum á endurvinnslu þeirra. Litið var til reynslu annarra þjóða á notkun úrgangsefna í vegagerð, hún skoðuð og tekin saman. Niðurstaða verkefnisins er að tækifæri eru á Íslandi til að endurnýta sum þessara frálagefna í vegagerð. Úrgangsflokkarnir sem voru skoðaðir eru gler, gúmmí, plast, malbikskurl, steypa og þakpappi.

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

ÚTGÁFUSAGA

NR.	HÖFUNDUR	DAGS.	RÝNT	DAGS.	SAMÞYKKT	DAGS.
01	Tinna Húnbjörg Einarsdóttir Friðrik Klingbeil Gunnarsson Rob Kamsma Þorbjörg Sævarsdóttir	12.04.19	Friðrik Klingbeil Gunnarsson Þorbjörg Sævarsdóttir	12.04.19	Þorbjörg Sævarsdóttir	26.04.19

EFNISYFIRLIT

1	INNGANGUR	6
2	EFNI TIL ENDURVINNSLU Í VEGUM OG GÖTURÝMUM	8
2.1	Gler	9
2.1.1	Glerflöskur	9
2.1.2	Rúðugler	11
2.2	Gúmmí	12
2.2.1	Hjólbarðar	12
2.3	Plast	14
2.4	Malbiksfræs	16
2.5	Steypa	17
2.6	Þakpappi / bikpappi	17
3	LOKAORÐ	18
4	HEIMILDASKRÁ	19

1 INNGANGUR

Um allan heim er íbúafjöldi að aukast. Samhliða auknum fólksfjölda eykst notkun hráefna og magn frálags (aukaafurða og úrgangs til endurvinnslu eða förgunar). Til þess að sporna við aukinni notkun nýrra hráefna og draga úr myndun úrgangs er nauðsynlegt að auka endurnotkun, endurnýtingu og endurvinnslu. Æskilegt er að auka nýtingu efna hérlendis til að minnka flutning efnis milli landa.

Í dag er kveðið á um í byggingarreglugerð nr. 112/2012 að 60% af byggingar og niðurrifsúrgangi sé flokkaður með þeim hætti að hann sé hæfur til endurnýtingar áður en honum er skilað á viðurkenndan móttökustað. Þessar kröfur eru að aukast og skal hlutfallið vera komið upp í 70% árið 2020. Samhliða auknum kröfum um endurnýtingu úrgangs er nauðsynlegt að kortleggja hvar og hvernig nýta megi afurðina. Samhliða auknum kröfum um endurvinnslu verður stöðugt erfiðara að opna nýjar námur sem og stækka núverandi námur. Einnig er líklegt að kostnaður við förgun og kaup á nýju hráefni eigi eftir að aukast.

Ein aðferð til þess er svokölluð „Cradle-to-Cradle“ eða „vöggju til vöggju“ aðferðafræði, en þá er efnisnotkun, endurvinnslu og endurnýtingu gert hátt undir höfði, en aðferðafræðin gengur út á hringrásarhugsun. Í upphafi skildi endinn skoða og strax við hönnun og efnisvali er hugað að því að ekki verði til nein úrgangur, hægt sé að taka hlutinn í sundur, flokka og endurnýta allt efni. Þessi hugmyndafræði er vel þekkt og ryðjur sér æ meira til rúms.

Við endurnýtingu úrgangs þarf eftir atvikum að afla ráðgefandi álits Umhverfisstofnunar um endurnýtinguna, sem snýr að því hvort úrgangur hætti að vera úrgangur að endurnýtingu lokinni. Viðmið um lok úrgangsfasa fyrir glerbrot koma fram í reglugerð 564/2014 um lok úrgangsfasa. Reglugerð nr. 1078/2015 um endurnýtingu úrgangs gildir um endurnýtingu úrgangs þar sem ekki eru til viðmið um lok úrgangsfasa. Í reglugerð um endurnýtingu úrgangsfasa koma fram þættir sem Umhverfisstofnun hefur til viðmiðunar við gerð álits, og höfð voru til hliðsjónar við vinnslu verkefnis.

- Að úrganginum verði breytt í vöru sem hægt sé að setja á markað.
- Að hægt sé að nota úrganginn sem fer í gegnum endurnýtingaraðgerð á sambærilegan hátt og sambærilega vöru á markaði sem hefur ekki verið unnin úr úrgangi.

- Að hægt sé að geyma úrganginn sem fer í gegnum endurnýtingaraðgerð og nota hann á þann hátt að hann valdi ekki verri umhverfisáhrifum en sambærileg vara á markaði sem hefur ekki verið unnin úr úrgangi.
- Að umsækjandi tryggi að varan uppfylli ávallt settar kröfur.

Margar þjóðir eins og t.d. Hollendingar og Þjóðverjar eru langt komnar í endurnotkun, endurnýtingu og endurvinnslu og er ekki leyfilegt að setja nýtanleg úrgangsefni til urðunnar. Talsvert er litið til vega, stíga, bílastæða og hafna þar sem tækifæri til endurvinnslu efna sem annars yrðu að úrgangi eru töluverð en gerð er krafa um að gæði efnanna sem eru notuð standist efniskröfur. Þegar litið er til staðla evrópska staðlaráðsins er fyrsta setningin í staðlinum EN 13242:2002+A1:2007 sú að það séu eiginleikar steinefnis sem skipti máli en ekki hvort það komi úr námu, sé framleitt eða endurunnið fyrir bæði bundin og óbundin efni í almenn byggingarverkfræðileg verkefni og vegagerð. Þannig er áhersla lögð á eiginleika en ekki uppruna efnisins. Úrgangsefni sem eru notuð eru t.d. steypubrot, malbiksfræs, gler, plast, dekk og þakklæðing (bikpappi).

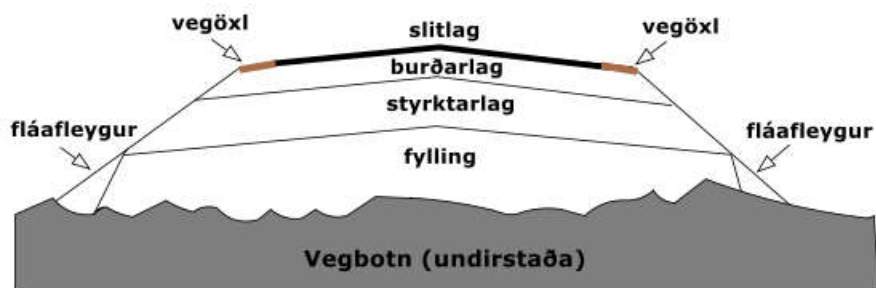
Hollendingar og Þjóðverjar hafa lagt mikla áherslu á endurvinnslu í vegbyggingum og er hluti þess efnis sem notaður er í vegagerð og þar með talið malbik úr endurunnu efni. Aðallega er um að ræða ónýtt eða ónýtanlegt byggingarefni, eða nýtanlegt efni sem fellur til við niðurrif, en einnig hefur gjall og aska t.d. frá sorpbrennslu verið notað. Ávallt skal tryggja að óæskilegt efni sleppi ekki út í umhverfi, en strangar kröfur gilda þar um verndun jarðvegs og grunnvatns. En það eru ekki einungis jarðefni sem tilheyra vegum, bílastæðum og höfnum heldur hafa endurunnin efni verið notuð í mörg götugögn eins og yfirborðsmerkingar, vegstikur, vegkeilur, kantsteina, fender/bybbur og akstursvörn/kantré og svo mætti lengi telja.

Tilgangur þessa rannsóknarverkefnis er að skoða hvaða úrgangsflokkar og aukaafurðir falla til á Íslandi sem gætu nýst í vega- og hafnagerð. Er þá leitast við að meta umfang, hagkvæmni og möguleika til innlendar endurvinnslu efnanna.

2 EFNIR TIL ENDURVINNSLU Í VEGUM OG GÖTURÝMUM

Hér að neðan er velt upp notkunarmöguleikum endurunns glers, gúmmís, plasts, malbiksfræs, steypu og þakpappa í vegagerð en þetta eru allt efni sem hafa verið nýtt í vegagerð erlendis á einn eða annan hátt. Efnin safnast saman í mismiklu magni hérlandis, eru misvel flokkuð og krefjast mismikillar vinnslu til þess að hægt sé að endurvinna og nýta efnin.

Göturými og vegir samanstanda af veghlotinu (Mynd 1) og götugögnum og er þar með talið skilti og yfirborðsmerkingar, vegstíkur, vegrið, kantsteinar, bílastæðastopparar og svo mætti lengi telja.



Mynd 1: Heiti byggingarluta í veghloti (Vegagerðin, 2019).

Fylling er neðsti hluti veghlots en hlutverk hennar er að jafna vegbotninn og koma undirbyggingunni í rétta hæð. Styrktar- og burðarlag er lagt ofan á fyllinguna, sem dreifir umferðaralaginu á undirbygginguna þannig að ekki komi fram formbreytingar á slitlaginu. Lögin þurfa að vera stíf og stöðug, en einnig að leiða vatn burt úr veghlotinu og vera ónæm fyrir frostáhrifum (Vegagerðin, 2019).

Slitlag er efsta lag veghlots og skapar jafnt og slétt ökusvæði. Slitlagið tryggir nægilegt viðnám við dekk farartækja til að hindra að þau renni til á veginum. Slitlagið þarf að þola áraun frá umferðinni, veðrun svo sem frost/þíðu-áraun og vera þétt þ.a. sem minnst vatn komist í veghlotið. Slitlög geta verið bundin (klæðing eða malbik) eða óbundin (malarvegir). Gerðar eru meiri kröfur til efnisins eftir því sem ofar dregur í veghlotinu (Vegagerðin, 2019).

Götugögn er samheiti yfir öll þau gögn sem tengjast vegagerð á einn eða annan hátt, t.d. kantsteinar, bílastæðastopparar, skilti, strætóskýli, bekki og úrgangsilát/stampar svo fátt eitt sé nefnt. Yfirborðsmerkingar eru merkingar á yfirborði vega. Þær auðvelda vegfarendum akstur (sérstaklega í myrki), stýra umferð, vekja athygli á hættum, fræða um þær aðstæður sem framundan eru og benda á staði þar sem sýna þarf aðgát (Vegagerðin, 2006a).

Vegstikur afmarka vegabrunir en hafa einnig glitmerki sem sýna akstursstefnu og vísa að veginum (Vegagerðin, e.d.).

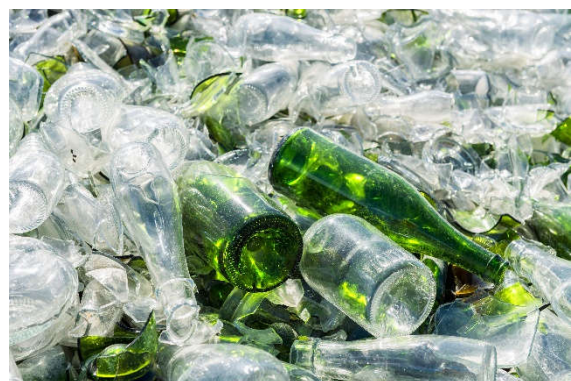
2.1 Gler

Gler er að fullu endurvinnanlegt efni og hægt er að endurvinna það aftur og aftur án þess að það tapi gæðum. Gler hefur ekki enn verið endurunnið í nýtt gler hér á landi, en einnig er kostnaðarsamt að flytja gler til annarra landa til endurvinnslu og umhverfisáhrifin af flutningnum dregur úr ávinningi þess. (Endurvinnslan, e.d.) Gler hefur undanfarin ár verið safnað saman á urðunarstaðnum Álfsnesi (Kristín Sigurðardóttir, 2016). Gler er meðhöndlað og endurunnið að hluta til hér á landi, en efnið er þá brotið niður og notað sem undir- og yfirlag á urðunarstöðum, auk þess sem gler hefur verið notað sem stoðefni eða drenefni í vegi og plön innan svæðisins á Álfsnesi (Endurvinnslan, e.d.; Sorpa, 2017). Endurvinnslan hf. tekur einungis á móti skilaskyldum umbúðum, sbr skilgreindu hlutverki fyrirtækisins, en önnur glerilát þarf að fara með á gámastöðvar (Endurvinnslan e.d.). Flokkun glers á vegum sveitarfélagana er að aukast héraðs og hefur söfnun gengið vel.

Notkunarmöguleikar endurunnins glers til vegagerðar sem skoðaðir verða eru blöndun glers í malbiksframleiðslu, mulið gler í undir- og burðarlag og glerperlur sem notaðar eru við yfirborðsmerkingar gatna. Í þessu verkefni verður áhersla lögð á skilgjaldsskyldar glerflöskur og rúðugler þar sem aðrir straumar eru ekki þekktir.

2.1.1 Glerflöskur

Glerflöskur sem bera skilgjald hér á landi og er safnað saman af Endurvinnslunni hf. Glerið er ekki flokkað eftir litum og oft óhreinsað og með aðskota rusli. Til þess að endurvinna glerflösku í nýja glerflösku sem og auðvelda aðra endurvinnslu þarf flokkunin og hreinsunin að vera betri. Brotið blandað óhreinsað gler má hins vegar nota sem efni í undir- og styrktarlög vega. (Imteaz, Ali og Arulrajah, 2012). Þegar gler hefur verið brotið niður í viðunandi stærð hefur það svipaða eiginleika og mól eða sandur og gæti því hentað í styrktar- og burðarlög og fyllingar. Hefðbundnir brjótar eru notaðir til að brjóta glerið niður en einnig gæti verið æskilegt að hafa segul og loftflokun eða sigtun til að hreinsa aðskotaefni en mælst er til að hlutfall aðskotaefna fari ekki fyrir 5%. Glermulningur hefur verið notaður í undirlög vega erlendis, þar sem því er blandað saman við steinefnin og einnig notað í burðarlög og styrktarlög. Þar sem léleg efni eru til



Mynd 2: Glerflöskur

staðar getur glermulningur aukið styrkleika vegagerðarefna. Glermulningurinn þarf að standast þær efniskröfur sem gerðar eru til steinefnisins, svo sem vera innan marklína viðkomandi kornakúrfu, vera þjappanlegt og að styrkur efnisins sé nægjanlegur. Einnig þarf að tryggja að magn aðskotaefna sé undir viðmiðunarmörkum. Í Bandaríkjunum er hámarkshlutfall glermulnings sem blandað er við jarðefnin 15% í burðarlag og 30% í styrktarlag (U.S Department of Transportation, 2016; HDR Engineering, 1997). Hlutfall, stærð og eiginleikar glermulningsins sem er bættur við hefðbundin steinefni er nokkuð á reiki og því væri nauðsynlegt að rannsaka hlutfallið fyrir íslensk steinefni og aðstæður.

Glermulningur hefur einnig verið notaður sem steinefni í malbik. Í Bretlandi hafa viðunandi niðurstöður náðst hvað varðar styrk, hemlunarviðnám og hljóðdeygingu, en þá er hlutfall glermulnings 10-15% af steinefnablöndunni og mulningurinn ekki stærri en 4,75 mm. Þegar hlutfall glermulnings fer yfir 15% og/eða brotin verða stærri minnkar viðnám og binding efnanna vegna minni viðloðunar glers. Vegna þessa er ekki mælt með notkun herra hlutfalls glers í malbik (Huang, Bird og Heidrich, 2007).

Árið 2010 gerði Háskólinn í Reykjavík í samstarfi við Malbikunarstöðina Hlaðbær Colas rannsókn á íblöndun glers í malbik (Dóra Lind Pálmarsdóttir, 2010). Blandað var 10% af glermulningi í uppskrift fyrir Y11 Hólabrú. Glermulningurinn var settur á hörpu til að aðskilja aðskotaefni (pappír, plast og annan úrgang) og brjóta efnið meira niður. Æskilegt hefði verið að brjóta efnið niður í 0-5 mm en eftir hörpun var kornastærðin 0-11 mm og var það notað. Niðurstöður prófanna gáfu til kynna að malbiksblandan uppfylli öll helstu skilyrði Vegagerðarinnar um efniskröfur, sáldurferlis steinefnis í malbiki, festu, sig og holrýmd fyrir umferðarminni götur. Eftir hefðbundna útlögn var lítill sem enginn munur á malbikinu sem innihélt gler og hefðbundna malbiki en viðloðun malbiks sem innihélt gler var minni. Viðloðun minnkar við íblöndun glers og þess vegar þarf að kanna viðloðun betur ef nota á malbiksblöndu með gleri á umferðarmeiri götur. Áætlað var að nota glermulning í yfirlagsmalbik (Y11) fyrir plön og stíga þar sem ekki er þörf fyrir viðloðunarefni og í burðarlagsmalbik (U16). Ef bæta þarf viðloðunarefni í malbikið vegna minni viðloðunnar myndi kostnaður aukast þar sem Y11 yfirlag með gleri og viðloðunarefni er dýrara en Y11 án glers. Aftur á móti lækkaði kostnaður malbiksins án viðloðunarefnis um hlutfall glers í blöndunni þar sem ekki var greitt fyrir glerið (Dóra Lind Pálmarsdóttir, 2010).

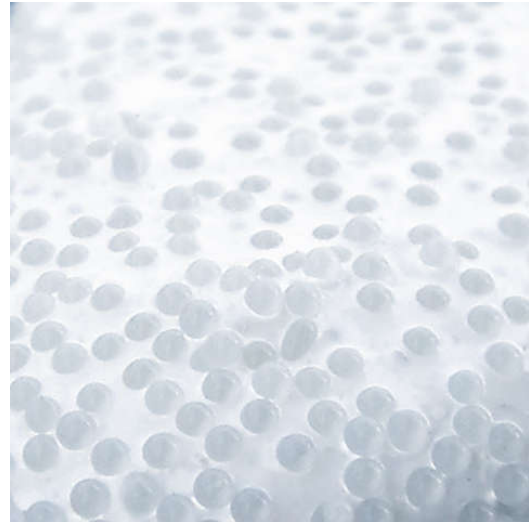
Árið 2016 bárust Endurvinnslunni 6.733 tonn af drykkjargleri og árið 2017 7.053 tonn (Helgi Lárusson munnleg heimild, 9. október 2018). Ef glermulningur væri notaður sem 10% af steinefnunum í malbiksblöndu væri hægt að nýta glerið til að framleiða um það bil 70.000 tonn af malbiki. Í húsagötur fara um 80 kg af malbiki á einn fermetra, ef reiknað er með meðalbreidd húsagötu sé 7 metrar væri hægt að leggja út um 100 km af malbiki íblönduðu gleri árlega. Á meðan einingarverð glermulnings er minna en hefðbundinna steinefna er ódýrara að framleiða glerblandað malbik en kostnaðurinn breytist fljótt ef bæta þarf viðloðunarefnum í blönduna.

Hafa skal í huga mengunarhættu og heilsufarsleg áhrif þegar óhreint gler er notað í vegagerð. Glermulningur getur mengað jarðveg þegar honum er blandað við steinefni. Glerið sjálft er hættulaus sandur þegar það hefur verið mulið niður en óhreini sem gætu fylgt glerinu gætu mengað út frá sér. Því er mikilvægt að hreinsa glerið vel og tryggja að ekki séu mengandi efni í því. Rannsókn var gerð í Ástralíu þar sem sýni af glermulningi voru rannsökuð og niðurstöður leiddu í ljós að hægt sé að nota glermulning í styrktarlög vega án þess að eiga hættu á að menga jarðveginn (Imteaz, Ali og Arulrajah, 2012). Einnig myndast svifryk þegar malbik slitnar og í svifryki eru bergagnir ásamt glerögnum í

glerblönduðu malbiki. Niðurstöður tilrauna gefa til kynna að ekki sé greinamunur á svifryki hefðbundins marlbiks og svifryki malbiks með gleri í (Dóra Lind Pálmarsdóttir, 2010).

2.1.2 Rúðugler

Yfirborðsmerkingar vega eru mikilvægur þáttur til að stuðla að umferðaröryggi. Til að ná endurskini í vegmálningu og vegmassa er svokölluðum fallperlum sprautuð yfir blauta málningu/massa við útlögn en einnig eru blöndunarperlur oft um 25% af heildarmassa vegmassa. Þar sem búið er að blanda perlur í massa við framleiðslu eru þær ekki skoðaðar nánar hér. Mikilvægt er að glerperlurnar sitji rétt í yfirborðinu til að tryggja bestu virknina og þar af leiðandi hámarks endurskini yfirborðsmerkinga (Vegagerðin, 2006a). Hérlandis eru mest notaðar perlur í stærðinni 0,2 – 0,5 með ljósstuðul sem er yfir 1,5 og verða 80% þeirra að vera kúlulaga og gallalausar og rakavarðar með silikoni. Allt efni sem Vegagerðin notar þarf að uppfylla kröfur staðals EN 1423. Perlurnar veita endurskin um 300 mcd/m²/lux á nýlegri þurri merkingu á malbiki, en á klæðingu um 250 mcd/m²/lux miðað við hvítar vegmerkingar (Vegagerðin, 2006b).



Mynd 3: Glerperlur í vegmálningu (Swarco, e.d.)

Í framleiðslu sumra framleiðanda er verið að nýta endurunnið hráefni að hluta. Algengast er að endurvinnna flatt gler (rúðugler) í glerperlur. Þá er safnað saman afgangsgleri frá gluggaframleiðunum, það brotið niður, hitað og umbreytt í kúlulaga glerperlur (Vegagerðin, 2006b; Sovitec, e.d.; Swarco, e.d.). Tryggja þarf hreinleika efnisins ef nýta á eldra gler til að tryggja efnisgæði endurvinnsluafurðarinnar.

Helstu framleiðsluleiðir glerperla eru tvær en hægt er að blanda þeim saman til að fá viss afbrigði glerperla:

Bein aðferð – heitt fljótandi gler er úðað (sbr. vatni úr garðslöngu) og umbreytt yfir í kúlur. Þá eru þær teknar úr framleiðslutankinum og kældar, safnað saman og sigtaðar. Aðferðin gefur glerperlur með ljósstuðulinn 1,65 og 1,9 þegar aflögun perlanna breytist frá bráðnuðu ástandi yfir í hert (Virginia Department of Transportation, 2012).

Óbein aðferð – er algengasta aðferðin til að framleiða glerperlur með ljósstuðulinn 1,5. Nýtt eða endurheimt glært gler er mulið niður í glerduft, sem er helt, sprejjað eða úðað í stóra þriggja til fjöggra hæða ofna. Ögnunum er blásið í gegnum loga þar til þær mýkjast og taka lögun kúlna. Kúlurnar er kældar í efsta hluta ofnsins, safnað saman og sigtaðar (Virginia Department of Transportation, 2012).

Áætlað magn rúðuglers sem Sorpa á Álfsnesi tók á móti árið 2017 var undir 100 tonnum (Bjarni Gnýr Hjarðar, munnleg heimild, 8. október 2018). Yfirborðsmerkingar hér á landi eru ekki endingargóðar en endurmerkja þarf flest allar vegmerkingar árlega á vegum Vegagerðarinnar (Guðbjörg Lilja

Erlendsdóttir og Arna Kristjánsdóttir, 2017). Samkvæmt upplýsingum frá Vegagerðinni voru merktir tæplega 6.500 kílómetrar af yfirborðslínunum árið 2017 og voru notaðar í það um 225 tonn af glerperlum sem settar eru í blauta línuna til að fá endurskin (Guðmundur Guðmundsson munnleg heimild, 3. apríl 2019). Ef gert er ráð fyrir að 70% af rúðuglerinu hjá Sorpu sé nothæft væri því hægt að framleiða glerperlur fyrir 2.000 km langa vegmerkingu eða um 30% af heildarmagni sem þarf árlega. Höfundar telja því að straumurinn af rúðugleri sé ekki nægilega stór og að framleiðsla glerperla úr rúðugleri sé of viðamikil til þess að það borgi sig að fara í framleiðslu.

Hins vegar kæmi vel til greina að nýta rúðugler eins og flöskuglerið í burðarlög vega sem og íblöndun í malbik þegar búið er að hreina það og fjarlægja aðskotahluti.

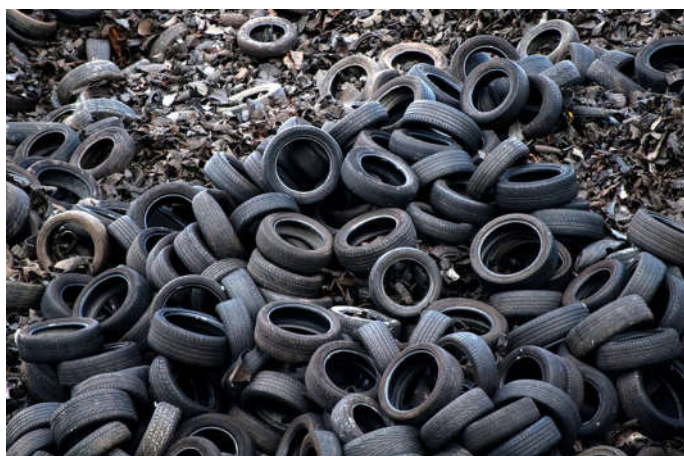
2.2 Gúmmí

Til margar mismunandi tegundir gúmmís sem skiptast í náttúrulegt gúmmí og verksmiðjuframleitt gúmmí. Náttúrulegt gúmmí er búið til úr hvítum vökva sem kallast latex og kemur úr gúmmítrjám. Helstu flokkar úrgangs úr gúmmí eru gúmmípípur, gúmmíbelti og hjólbarðar undan farartækjum og eru þeir lang stærsta uppsprettan (Woodford, 2017; Reliance Foundry, 2017; Fang, Zhan og Wang, 2001).

Árlega eru framleiddur yfir milljarður af hjólbörðum í heiminum og er um að ræða úrgangsflokk sem mikilvægt er að sé enduruninn eftir að notkunartíma þeirra lýkur. Stór hluti hjólbarða er nýttur til brennslu í sementsbrennsluofnum til orkunýtingar og sem byggingarefni á urðunarstöðum (LeBlanc, 2018; Hringrás, e.d.). Samkvæmt reglugerð um urðun úrgangs nr. 738/2003 er óheimilt að urða hjólbarða (heila eða kurlaða) sem eru með minna þvermál en 1,4 m. Hins vegar má nýta kurlaða hjólbarða sem byggingar- og stoðefni á urðunarstað. Úrgangs hjólbarða er einnig hægt að nota í vegagerð (veginn sjálfan) og í götugögn. Hér að neðan verður einungis skoðuð endurvinnsla hjólbarða þar sem aðrir straumar gúmmís eru mun minni.

2.2.1 Hjólbarðar

Hjólbarðar eru hannaðir til að standast erfið veður og umhverfisskilyrði og eru þess vegna erfiðir í endurvinnslu, þeir eru fyrirferðamiklir og brotna seint niður eða á u.þ.b. 80-100 árum. Vegna efniseiginlegra gúmmísins er ekki hægt að bræða þau og endurmóta, og hefur úrræðaleysi í endurvinnslu og förgun dekkja gert það að verkum að þeir geta safnast upp í hauga (Martínez o.fl., 2013).

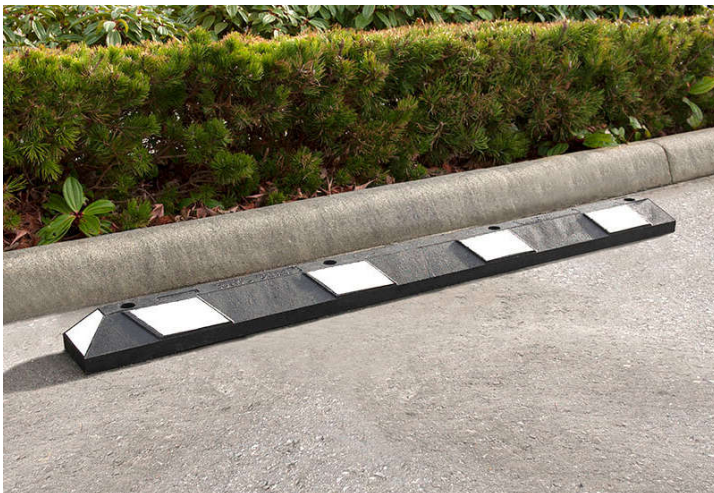


Mynd 4: Uppsafnaðir hjólbarðar (Reliance Foundry, 2017)

Hjólbarðar eru þrífir áður en hægt er að hefja endurvinnslu, en algengast er að þeir séu tættir og kurlaðir í sérhæfðum vélum. Úr einu hefðbundnu fólksbíladekki falla til um 4 til 6 kg af dekkjakurli. Næst eru málmvírar aðskildir frá með öflugum rafseglum sem og aðrir aðskotahlutir og eftir situr um 70 % af þyngdinni sem endurnýtanlegt dekkjakurl (Reliance Foundry, 2017; Scrap Tire News, e.d.). Einnig er hægt að nota fljótandi köfnunarefni (Nítrógen) til að endurvinnna dekk í dekkjakurl með frýstingu en þessi aðferð er óalgengari. Dekkin verða stökk við kuldann og mjög brothætt, en þá má nota öfluga hamra til að mylja dekkinn niður. Þessi aðferð gefur fínna gúmmíkurl og gúmmíduft sem hefur verið notað til dæmis á gervigrasvelli (Institute of Scrap Recycling Industries, 2016; Presti, 2013).

Þegar hjólbarðar hafa verið tættir niður í kurl er hægt að nýta kurlið í hin ýmsu götugögn. Þar sem gúmmí hefur meiri samþjöppunareiginleika heldur en t.d. malbik eða steypa getur það hentað mjög vel þar sem hætta er á samstuði. Yfirleitt eru bílastæðastopparar úr steypu, sem þýðir að þeir eru þungir, ósveigjanlegir og hafa tilhneigingu til að springa við árekstur. Á meðan bílastæðastopparar sem eru gerðir úr endurunnu gúmmí eru hentugri í að taka á móti höggi við ákeyrslu, en þeir eru einnig léttari sem auðveldar uppsetningu og tilfærslur (Reliance Foundry, 2017). Sem dæmi um aðra notkunarmöguleika má nefna hraðahindranir, undirstöður fyrir umferðarskilti, fót á umferðarkeilur og gúmmíkubba sem hægt er að nota sem kantstein. Allt hefur þetta sameiginlegt að vera færanlegt og notendavænt (Rubberform, e.d.).

Árið 2016 var safnað saman um 4.500 tonnum af hjólbörðum (Úrvinnslusjóður, 2017) sem voru ekki endurunninn en kurlað hjá Hringrás og Furu. Kurlið er notað sem þrýstijöfnunarlag á urðunarstaðinn í Álfsnesi. Einnig er það notað í opnar og lokaðar manir en í opnum mönum binst sorp vel í dekkjakurlinu út af vírum sem eru í kurlinu. Í ágúst 2018 hófst hins vegar tilraunaútflutingur á dekkjakurli til endurvinnslu hjá Efnarás, dótturfélags Hringrásar. Flutt voru út 260 tonn og gert er ráð fyrir að 2.600 tonn fari út ár hvert ef verkefninu verður framhaldið.



Mynd 5: Bílastæðastoppari úr endurunnu gúmmí (Reliance Foundry, 2017)

Bílastæðastoppari úr gúmmí er yfirleitt um 180 cm langur og um 18 kg að þyngd og 1 metri af færanlegum kantsteini vegur um 15,8 kg (Rubberform, e.d.). Ef árlega safnast um 4000 tonn af dekkjum, með 70% endurnýtanlegu dekkjakurli gera það um 2800 tonn. Þá mætti framleiða rúmlega 124 þúsund bílastæðastoppara eða rúmlega 140 kílómetra af færanlegum kantsteini með 80% nýtingu. Telja höfundar að endurvinnsla dekkjakurls í götugögn (bílastæðastoppara og kantstein) sé raunhæfur möguleiki þar sem

úrgangsstraumur dekkja er stór og dekk nú þegar kurlað þér á landi og því ekkert því til fyrirstöðu að þróa og framleiða lokaafurð hér á landi.

Gerðar hafa verið tilraunir í Bandaríkjunum með blöndun dekkjakurls við malbik en þá þarf að tryggja að allt stál, vírar og trefjar hafi verið fjarlægð úr kurlinu. Að blanda dekkjakurli við malbik getur haft í för með sér minni hjólfaramyndun, meiri líftíma og minnkað hljóðmengun sem berst frá vegum

(Walker, e.d.). Aftur á móti er malbik með íblönduðu dekkjarkurli viðkvæmara fyrir kulda og því hefur það hvað mest verið notað í Kaliforníu og Arizona fylki í Bandaríkjunum (Intergrated Waste Management Board, e.d.). Því telja höfundar að blöndun dekkjakurls við malbik þarfnist töluverðra rannsókna áður en það verður notað hérlendis vegna veðuraðstæðna.

2.3 Plast

Plast fyrirfinnst ekki í náttúrunni en samanstendur úr fjölliðum og er framleitt úr náttúrulegum efnum, aðallega jarðolíu og jarðgas sem eru takmarkaðar auðlindir. Því er mikilvægt að fara vel með auðlindina, endurnýta afurðir eftir fremsta megni og lágmarka framleiðslu á einnota vörum (Plastiðjan, e.d.; Umhverfisstofun, e.d.).

Plast er stór hluti af okkar daglega lífi en plast má m.a. finna í barnabístólum og hjálmum, tölvum, farsímum, leikföngum, burðapokum og matvælaumbúðum svo fátt eitt sé nefnt. Helstu eiginlegar plasts er langur endingartími og efnið er slitsterkt, það eyðist því ekki og hverfur í náttúrunni heldur brotnar niður í smærri og smærri einingar og verður að svokölluðu örplasti (Umhverfisstofnun, e.d.).

Heyrúlluplast

Árlega eru flutt inn til landsins um 2.000 - 2.500 tonn af heyrúlluplasti. Áður fyrr var heyrúlluplast annað hvort urðað eða sent óunnið úr landi. Nú er lagt úrvinnslugjald á hvert kíló af heyrúlluplasti til að auka magn plast sem fer í endurvinnslu. Úrvinnslugjaldið gerir það mögulegt að hægt að sækja plastið til bænda og koma því til endurvinnslu (Íslenska Gámafélagið, e.d. ; Guðrún Hulda Pálsdóttir, 2017).

Plastflöskur



Mynd 6: Plastflöskur

Plastflöskur eru stór hluti af hinu daglega lífi og er um milljón plastflöskur keyptar á hverri mínútu í heiminum og fer þessi tala hækkandi með hverju árinu (Laville og Taylor, 2017). Hérlendis tekur Endurvinnslan á móti 1.500 til 1.600 tonnum árlega (Helgi Lárusson munnleg heimild, 3. apríl 2019). Í dag eru plastumbúðinar pressaðar, baggaðar og sendar erlendis til endurvinnslu og er til dæmis framleidd pólýeser-ull sem nýtist í fataiðnaði, teppaframleiðslu og fleira (Erla Hlín Helgadóttir, 2014).

Plastpokar, plastumbúðir og heimilsplast

Umbúðaplast er skilgreint sem allt plast sem tengist lífi einstaklings, í vinnu, skóla og heima við en notkunartími umbúðarplasts (einnota) er mjög stuttur (Umhverfisstofnun, e.d.). Heimili landsins eru stór uppspretta plasts og er flokkað plast sem safnað er að megninu til blanda af umbúðum og öðrum plasthlutum sem falla til á heimilum. Mikilvægt er að flokka plast, en árið 2017 fóru um 27 kg af óflokkuðu plasti í sorptunnur á hvern höfuðborgarbúa en aðeins um 5 kg skilaði sér flokkað í endurvinnslufarveg (Sorpa, e.d.). Plastið er sent til Svíþjóðar þar sem það er nýtt til endurvinnslu og til

orkuframleiðslu. Markmiðið er að endurvinna plastið hérlandis annað hvort til orkuframleiðslu eða til annarra endurnýtingar t.d. í lífdísselframleiðslu (Sorpa, 2018).

Endurvinnsluferli

Árið 2015 var stofnað fyrirtækið Pure North Recycling í Hveragerði sem sérhæfir sig í endurvinnslu á heyrúlluplasti. Vinnsluferlið er í stórum dráttum að hreinsa og þurrka plastið, tæta það niður og pressa í bagga sem er síðan flutt úr landi. Nauðsynlegt er að flokka plastið eftir lit og er hvíta plastið verðmætara en litað plast og því væri gáfulegt að flytja einungis inn hvítt heyrúlluplast, bæði til að auðvelda endurvinnslu og fá sem mest fyrir efnið (Hörður Kristjánsson, 2018).

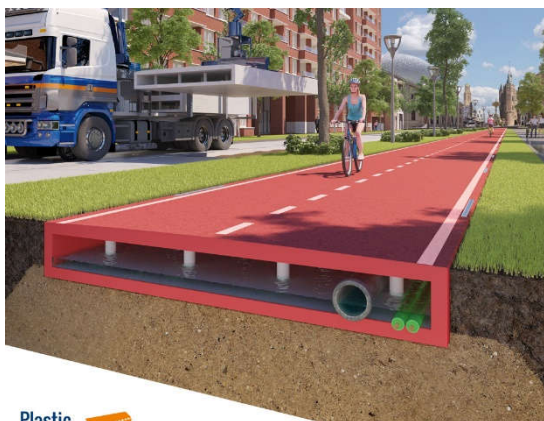
Endurvinnsluferli plasts er mislangt eftir því hver loka afurðin er og passa þarf að um sömu plasttegund sé að ræða. Í grófum dráttum er byrjað á því að flokka rusl og aðskotarefni frá plastinu, næst er það þvegið og að lokum sett í tætara sem tættir þær niður í flögur. Þegar um plastflöskur eru að ræða eru flögunum komið fyrir í vatnstanki til aðgreiningar þar sem tappinn og flaskan sjálf eru af sitthvorri plasttegundinni og tappaflogurnar fljóta meðan flöskurnar sökkva. Eftir flokkun eru flögurnar þvegnar aftur, þurrkaðar og bræddar niður í fljótandi form og búnir til langir, þunnir þræðir sem eru klipptir niður í litlar perlur (e. pellets) sem er hægt að nota til að framleiða nýjar vörur (Plastics Make it Possible, 2017; Litter, it costs you, 2018).



Mynd 7: Plast endurunnið í perlur (Íslenska Gámafélagið, e.d.)

Nýtingarmöguleikar

Árið 2016 var safnað um 3.000 tonnum af umbúðaplasi og tæplega 2.500 tonnum af heyrúlluplasti og um 1.500 tonnum af plastflöskum (Úrvinnslusjóður, 2017). Einnig ber að nefna þá plaststrauma sem ekki bera úrvinnslugjald og eru þar að leiðandi ekki inn í þessum tölum, líkt og byggingaplast og plaströr en þá strauma þarf að kanna og kortleggja frekar. Mikilvægt er að finna nýtingarmöguleika fyrir endurvinnslu plasts þar sem straumurinn er stór. Einnig er efnið sem unnið er úr heyrúlluplastinu fyrsta flokks efni og eru því miklir möguleikar til þess að vinna plastið aftur hér á landi í stað þess að senda það úr landi til frekari endurvinnslu.



Plastic Road
Mynd 8: Plastvegur (PlasticRoad, 2018)

Möguleiki á að nýta plast í vegagerð er margvíslegur. Fyrst ber að nefna plastvegi sem hafa verið í þróun í Hollandi. Um er að ræða einingar sem eru framleiddar úr endurunnum plastúrgangi, en lagðir voru tveir 30 metra plasthjólástígar í Hollandi árið 2018 (PlasticRoad, 2018). Aftur á móti er komin lítil sem engin reynsla á plastvegi og mikilvægt að hafa í huga mengunarhættuna sem þeim gæti fylgt. Einnig hefur verið skoðað að nota plast við malbiksframleiðslu og er verið að vinna verkefni um hagkvæmni þess (Guðrún Fjóra Guðmundsdóttir, 2018; McQuilkin, 2017). Við notkun á vegum eyðast þeir upp og öragnir

tætast upp, þar að leiðandi gæti örplast borist út í umhverfið við notkun plasts í akvegi og þá sérstaklega við aðstæður þar sem nagladekk eru mikið notuð líkt og er hérlendis. Vegna þessa væri mögulega betra að nýta efnið í göngu- og hjólastíga. Verið er að skoða örplast víða og verður fróðlegt að sjá niðurstöður þeirra rannsókna.

Framleiða mætti götugögn s.s. vegstikur og girðingastaura úr endurunnu plasti sem hægt væri að nýta meðfram bílastæðum og við útivistarsvæði. Fjöldi vegstika hérlendis er um 260 þúsund stikur (Einar Pálsson, 2019), og ef áætlað er að endurnýja þurfi 10% þeirra árlega eru það um 26 þúsund stikur. Hver stika er 900 mm há og vegur um 0,6 kg (EFLA, 2013). Ef áætlað sé að 70% af því plasti sem ber úrvinnslugjald sem safnast árlega sé hægt að endurvinnna í nýjar vegstikur með því að blanda endurunnu plastefni saman við upprunalegt plastefni í helmings hlutföllum má framleiða rúmlega 16 þúsund vegstikur árlega með endurunnu plasti eða rúmlega 60% af heildarmagni. Telja því höfundar góðan möguleika að endurvinnna plast í vegstikur og fróðlegt væri að fara í fleiri rannsóknir.



Mynd 9: Vegstika (ITI, 2005)

Erlendis er mikið af plasti unnið í dísilolíu sem nýta má á móti jarðefnaefnaeldsneyti farartækja. Í aðgerðaáætlun stjórnvalda um orkuskipti er makmið um 10% hlutdeild endurnýjanlegra orkugjafa í haftengdri starfsemi árið 2030. Skip geta yfirleitt notað lífdísel án mikilla breytinga og því ætti ekki að vera mikið mál að ná því markmiði (Umhverfis- og auðlindaráðuneytið, 2018). Einnig kveða lög nr. 40/2013 um endurnýjanlegt eldsneyti í samgöngum á landi um að söluaðilar eldsneytis hérlendis skuli tryggja að minnst 5% af heildarorkugildi eldsneytis til notkunar í samgöngum sé endurnýjanlegt eldsneyti. Til að uppfylla þetta hafa olíufélögin blandað lífdísel í díselolíu og etanól í bensín á bifreiðar (Orkustofnun, 2016). Fyrirtækið Refskegg í samstarfi við Sorpu er með tilraunarverkefni um framleiðslu dísilolíu úr úrgangsplasti þar sem áhersla er lögð á plast af flokkum 3-7 (Haukur Óskarsson, 2018) sem áhugavert verður að fylgjast með.

Pure North Recycling er byrjað á að láta hluta endurunna plastsins til framleiðslu hérlendis. Það sem m.a. er verið að framleiða eru brettahorn fyrir fiskikassa, klemmur í gólfbita og rör. Einnig eru ýmis rannsóknarverkefni í gangi til að auka framleiðsluna. Fyrirtækið er að setja inn nýja línu til þess að geta tekið á móti meira og fjölbreyttara plasti og auka afköstin. Hægt er að framleiða einfalda hluti sem eru notaðir í skamman tíma úr plasti í flokkum 1 og 2 en nýta plastið úr flokkum 3 til 6 í hluti sem hafa langan líftíma s.s. girðingar og skjólveggi (Sigurður Halldórsson munnleg heimild, 12. apríl 2019).

2.4 Malbiksfræs

Malbik er 100 % endurvinnanlegt og eitt mest endurunna byggingarefnið í Evrópu. Hægt er leggja nýtt malbik úr næstum því 100% endurheimtu malbiki. Þegar malbik er endurunnið þarf minna af nýju biki og steinefnum heldur en við framleiðslu á nýju malbiki. Þannig má áætla að endurunnið malbik spari bæði kostnað og hráefni, en bæði bik og steinefni er takmörkuð auðlind (European Asphalt Pavement Association, e.d.)

Árið 2013 gaf malbikunarstöðin Hlaðbær Colas út skýrslu um rannsóknarverkefni þar sem fjallað var um kaldblandað malbik með 100% endurunnu malbiki. Niðurstöður gáfu til kynna að auðvelt sé að blanda og leggja út kaldblandað malbik með bikþeytu hér á landi og að um sé að ræða ódýra og góða

lausn en efnið er ekki eins slitsterkt og endingargott og nýtt heitblandað malbik. Slitlagið hentar hins vegar vel á umferðarminni vegi, göngustíga, plön og sem undirlagsmalbik (Malbikunarstöðin Hlaðbær Colas, 2013).

Til stendur að rannsaka nýtingu malbikskurls í burðarlög vega og fékk EFLA verkfræðistofa styrk úr Rannsóknarsjóði Vegagerðarinnar 2019 til þeirra rannsókna. Hugmyndin er að taka saman reynslu annarra þjóða í nýtingu malbikskurls í burðarlög vega, taka saman þá notkun sem hefur átt sér stað hérlendis sem og að kanna frekari möguleika á nýtingu efnisins í vegaf framkvæmdir.

Einnig er Reykjavíkurborg með í malbiksútboðum sínum fyrir árið 2019 kröfu um að malbika eigi vissa götukafli í flokki ÁDU < 3000 sem og göngu- og hjólastíga með 25-30% endurunnu malbiki. Endurvinnsla malbiksfræs í nýtt malbik er því nú þegar hafin.

2.5 Steypa

Steypuafgangar eru flokkaðir í 3 flokka, hreina steypu sem er t.d. steypa sem fellur til á steypustöðvum, niðurbrotin steypa úr mannvirkjum og múrsteinar. Síðasti flokkurinn hefur ekki verið skoðaður hérlendis en hinum tveimur er lýst stuttlega hér að neðan.

Á Íslandi féllu til um 8.000 m³ af ónotuðum steypuafgöngum árið 2015 og á hverju ári falla til nokkur þúsund rúmmetrar sem enda í landfyllingum og urðun. Aftur á móti eru steypuafgangar víða annars staðar í heiminum endurunni og notaðir í mannvirki eins og burðarlög vega. Talið er að endurunnin steypa geti verið betri en hefðbundin steinefni þar sem óhvarfað sement binst og styrki burðarlagið. Tekið skal fram að um hreina og ónotaða steypu er að ræða og er því laus við öll aðskotarefni eins og plast, einangrun, timbur og annan byggingarúrgang sem er blandaður saman við niðurbrotna steypu úr mannvirkjum. Unnið var rannsóknarverkefni um notkunina og gáfu niðurstöðurnar tilefni til bjartsýni um frekari notkunarmöguleika efnisins (Þorbjörg Sævarsdóttir o.fl., 2017).

Verið er að rannsaka mögulega nýtingu niðurbrotinnar steypu úr mannvirkjum í burðarþol vega. Niðurbrotin steypa úr mannvirkjum svipar til steypuafganga nema að efnið er ekki hreint, það er að segja aðskotaefni eru í steypunni svo sem einangrun, plast og timbur. Helsti veikleiki efnisins er í aðskotaefnum steypunnar en efnið gæti nýst í umferðarminni vegi, hjóla- og göngustíga sem og neðar í vegbyggingunni (Þorbjörg Sævarsdóttir o.fl., 2017).

2.6 Þakpappi / bikpappi

Erlendis er þekkt að nýta efni sem innihalda bik til malbiksframleiðslu. Eitt þessara efna er bikpappi, en í Hollandi hefur verið verkefni í gangi kallast „roof2road“ (Roof2Road, e.d.). Hins vegar er lítið um þess konar úrgangsefni á Íslandi þar sem bikpappi er almennt lítið notaður hérlendis þ.a. erfitt væri að koma því á laggirnar.

3 LOKAORÐ

Endurvinnsla og endurnýting verður stöðugt mikilvægari, bæði til að minnka urðun og landfyllingar ásamt því að takmarka aukna efnisvinnslu. Þegar litið er til staðla evrópska staðlaráðsins kemur fram að eiginleikar efnanna skipta meira máli en uppruni þeirra. Í þessu verkefni eru straumar sex mismunandi úrgangsflokka skoðaðir ásamt möguleikum á endurvinnslu þeirra og var litið til reynslu annarra þjóða á notkun úrgangsefna í vegagerð og hún tekin saman. Niðurstaða verkefnisins er að tækifæri eru á Íslandi til að endurnýta frálagefni í vegagerð. Áhersla var lögð á gler, gúmmí og plast þar sem endurvinnsla malbikskurls og steypu hefur eða er verið að rannsaka hérlendis.

Höfundar telja að straumur glers sé nægilega stór til að nýta megi hann í vegagerð. Nota mætti glermulning flöskuglers í undirlög vega með því að blanda honum saman við steinefnin, en tryggja verður að hann standist þær efniskröfur sem gerðar eru til steinefnisins. Nauðsynlegt er að rannsaka hlutfallið milli glermulnings og steinefnis betur fyrir íslensk steinefni og aðstæður þar sem þetta hefur ekki verið gert hérlendis. Einnig kæmi vel til greina að nýta rúðugler eins og flöskuglerið í burðarlög vega sem og íblöndun í malbik eftir hreinsun.

Magn hjólbarða sem skila sér á sorpstöðvar er mikið og þar sem ekki er leyfilegt að urða þá er mikilvægt að finna endaaferð sem hægt er að endurvinna þá í. Gerðar hafa verið tilraunir með blöndun dekkjakurls við malbik en kurlið er viðkvæmt fyrir kulda og því telja höfundar að það þarfnist töluverðra rannsókna áður en það verður notað hérlendis vegna veðuraðstæðna. Aftur á móti telja höfundar að endurvinnsla dekkjakurls í götugögn (bílastæðastoppa og kantstein) sé raunhæfur möguleiki þar sem úrgangsstraumur dekkja er stór og dekk nú þegar kurlað hér á landi.

Helstu úrgangsstraumar plasts hérlendis eru heyrúlluplast, plastflöskur, plastpokar, plastumbúðir og heimilplast. Árið 2016 var safnað rúmlega 7.000 tonn af fyrrnefndu plasti og ekki getur talist fýsilegt að flytja allt plastið úr landi. Endurvinnsla plasts er nú þegar hafin hérlendis en fyrirtækið Pure North Recycling hefur endurunnið plast og hafin er framleiðsla á hluta efnisins hérlendis. Höfundar telja möguleika liggja í að endurnýta plast í götugögn s.s. í vegstikur. Einnig er spennandi tilraunaverkefni í gangi um framleiðslu dísilolíu úr úrgangsplasti sem áhugavert verður að fylgjast með.

4 HEIMILDASKRÁ

Dóra Lind Pálmarsdóttir. (2010). *Endurvinnsla á gleri og íblöndun þess í malbik*. Óbirt BS-ritgerð: Háskólinn í Reykjavík.

EFLA. (2013). Vistferilsgreining fyrir veg – Rannsóknarverkefni Vegagerðarinnar 2012. EFLA verkfræðistofa.

Einar Pálsson. (2019) Umferðaröryggi á Þjóðvegum – Þjónusta Vegagerðarinnar. Vegagerðin. Sótt 10. apríl 2019 af http://www.vegagerdin.is/media/frettir-2019/Einar-Palsson_Morgunverdarfundur_2019.pdf

EN 13242:2002+A1:2007. Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction.

Endurvinnslan. (e.d). *Gler*. Sótt 16. maí 2018 af <http://endurvinnslan.is/gler>

Erla Hlín Helgadóttir. (2014). Er ruslið sem við flokkum virkilega urðað með hefðbundnu rusli? *Vísindavefurinn*. Sótt 13. mars 2019 af <https://www.visindavefur.is/svar.php?id=66419>

European Asphalt Pavement Association. (e.d). Driving ahead with Sustainable Asphalt Roads: *Advantages of Asphalt*. Belgía: Höfundur.

Fang, Y., Zhan, M., og Wang, Y. (2001). The status of recycling of waste rubber. *Materials & Design*, 22(2), 123-128.

Guðbjörg Lilja Erlendsdóttir og Arna Kristjánsdóttir. (2017). *Yfirborðsmerkingar – Ending og efnisnotkun*. Reykjavík: EFLA.

Guðrún Fjóla Guðmundsdóttir. (2018). *Plastic Waste in Road Construction in Iceland: an Environmental Assessment*. Óbirt MS-ritgerð: Technical University of Denmark.

Guðrún Hulda Pálsdóttir. (2017, júlí). Endurvinnsla heyrulluplast með jarðvarma. *Bændablaðið*. Sótt 12. nóvember 2018 af <http://www.bbl.is/frettir/frettir/endurvinnsla-heyrulluplast-med-jardvarma/16974/>

Haukur Óskarsson. (2018). Plast verður díselolía. *Fenúr, vörðástand 2018*. Sótt 10. apríl 2019 af <http://fenur.is/wp-content/uploads/2018/06/Plast-verdur-disilolia-PVD-Fenur.pdf>

HDR Engineering, inc. (1997). *Glass Cullet Utilization in Civil Engineering Applications*. Nebraska State Recycling Association.

Hringrás. (e.d.). *Endurvinnsla*. Sótt 6. júní 2018 af <https://www.hringras.is/bilaforgun/endurvinnsla>

Huang, Y., Bird, R. og Heidrich, O. (2007). A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements. *Resources, Conservation and Recycling*, 52, 58-73.

Hörður Kristjánsson. (2018, júní). Bændur standa sig vel í skilum á heyrúlluplasti. *Bændablaðið*. Sótt 12. nóvember 2018 af <http://www.bbl.is/frettir/frettir/baendur-standa-sig-vel-i-skilum-a-heyruulluplasti-/20091/>

Imteaz, M. A., Ali, M. M. Y. og Arulrajah, A. (2012). Possible environmental impacts of recycled glass used as a pavement base material. *Waste Management & Research*, 30(9), 917-921.

Institute of Scrap Recycling Industries, Inc. (2016). *The Scrap Recycling Industry: Tires*. Sótt 20. júní 2018 af <https://www.recycledrubberfacts.org/wp-content/uploads/2016/03/fact-sheet-tires.pdf>

Intergated Waste Management Board. (e.d.). *Rubberized Asphalt Concrete: A Basic Introduction to RAC Usage*. Sótt 8. apríl 2019 af <https://www.calrecycle.ca.gov/docs/cr/tires/rac/rac101.pdf>

ITI. (2005). *Vegstikur*. Iðntæknistofnun. Sótt 16. apríl 2019 af <http://www.vegagerdin.is/sthbthjon.nsf/2d1e761d5db9cd840025702a00731850/046b603f077a3fe2002572450048a911?OpenDocument>

Íslenska Gámafélagið. (e.d.). *Leiðbeiningar um flokkun og frágang á heyrúlluplasti*. Sótt 12. nóvember 2018 af <https://www.arborg.is/wp-content/uploads/2009/01/Heyr%C3%BAlluplast2.pdf>

Kristín Sigurðardóttir. (2016). *Ónýtt, greinagerð útskriftarverkefni 2016*. Sótt 11. mars af <https://skemman.is/bitstream/1946/25417/1/Sky%CC%81rsla%20Kristi%CC%81n%20Sig.%20Skemman1.pdf>

Laville, S. og Taylor, M. (2017). A million bottles a minute: world's plastic binge as dangerous as climate change. *The Guardian*. Sótt 13. mars 2019 af <https://www.theguardian.com/environment/2017/jun/28/a-million-a-minute-worlds-plastic-bottle-binge-as-dangerous-as-climate-change>

LeBlanc, R. (2018) The Importance of Tire Recycling. *Sustainable Businesses*. Sótt 8. apríl 2019 af <https://www.thebalancesmb.com/the-importance-of-tire-recycling-2878127>

Litter, it costs you. (2018). *Process of Plastic Bag Recycling – from start to finish*. Sótt 2. apríl 2019 af <https://litteritcostsyu.org/process-of-plastic-bag-recycling-from-start-to-finish/>

Lög um endurnýjanlegt eldsneyti í samgöngum á landi nr. 40/2013.

Malbikunarstöðin Hlaðbær Colas. (2013). *Kaldblandað malbik með 100% endurunnu malbiki*. Hafnarfjörður: Höfundur.

Martínez, J. M., Puy, N., Murillo, R., García, T., Navarro, M. V., og Mastral, A. M. (2013). Waste tyre pyrolysis – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 179-213.

- McQuilkin, J. (2017). *Plast endurrunnið í vegi: mat á hagkvæmni þess að nota úrgangsplast til vegagerð á Íslandi*. Kópavogur: ReSource International.
- Orkustofnun. (2016). *Eldsneytisspá 2016 – 2050*. Reykjavík: Orkustofnun.
- PlasticRoad. (2018). *Opening 1st PlasticRoad bike path in the world*. Sótt 2. apríl 2019 af <https://www.plasticroad.eu/en/opening-1st-plasticroad-bike-path-in-the-world/>
- Plastics Make it Possible. (2017). *The Recycling Journey of a Plastic Bottle*. Sótt 13. mars 2019 af <https://www.plasticsmakeitpossible.com/plastics-recycling/what-happens-to-recycled-plastics/the-recycling-journey-of-a-plastic-beverage-bottle/>
- Plastiðjan. (e.d.). *Plast og umhverfið*. Sótt 7. nóvember 2017 af <https://www.plastidjan.is/um-okkur/plast-og-umhverfid/>
- Presti, D. L. (2013). Recycled Tyre Rubber Modified Bitumens for road asphalt mixtures: A literature review. *Construction and Building Materials*, 49, 863-881.
- Reglugerð um endurnýtingu úrgangs nr. 1078/2015.*
- Reglugerð um lok úrgangsfasa nr. 564/2014.*
- Reglugerð um urðun úrgangs nr. 738/2003.*
- Reliance Foundry. (2017). *The Truth About Rubber recycling*. Sótt 5. júní 2018 af <http://www.reliance-foundry.com/blog/rubber-recycling#gref>
- Roof2Road. (e.d.). *Roof2Road: from roofing roll to sustainable asphalt*. Sótt 5. apríl 2019 af <http://www.roof2roof.nl/roof2road/697-upcycling-van-asfaltwegen.html>
- Rubberform. (e.d.). *Recycled Rubber Products*. Sótt 22. júní 2018 af <https://rubberform.com/>
- Scrap Tire News. (e.d.). *Crumb Rubber Overview*. Sótt 28 september 2018 af <https://www.scraptirenews.com/crumb.php>
- Sorpa. (2017). *Ársskýrsla 2017*. Sótt 11. mars 2019 af https://sorpa.dccweb.net/media/2/sorpa_arsskyrsla_2017_net.pdf
- Sorpa. (2018). *Flokkad plast tímabundið hráefni í orkuframleiðslu*. Sótt 2. apríl 2018 af <https://sorpa.is/frettir/flokkad-plast-timabundid-hraefni-i-orkuframleidslu/718>
- Sorpa. (e.d.). *Plastið í poka*. Sótt 2. apríl 2019 af <https://sorpa.is/um-sorpu/plastid-i-poka>
- Sovitec. (e.d.). *Paints*. Sótt 24. maí af <http://www.sovitec.com/en/solutions/paints>
- Swarco. (e.d.). *Glass Beads*. Sótt 28. maí 2018 af <https://www.swarco.com/en/Products-Services/Traffic-Materials/Glass-Beads>
- U.S Department of Transportation. (2016). *User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction*. Sótt 18. maí 2018 af <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/97148/068.cfm>

Umhverfis- og auðlindaráðuneytið. (2018). *Aðgerðaáætlun í loftlagsmálum 2018 – 2030*. Sótt 11. apríl 2019 af <https://www.stjornarradid.is/lisalib/getfile.aspx?itemid=b1bda08c-b4f6-11e8-942c-005056bc4d74>

Umhverfisstofnun. (e.d.). *Plast*. Sótt 7. nóvember 2018 af <https://www.ust.is/einstaklingar/graenn-lifsstill/flokkun-og-endurvinnsla/plast/>

Úrvinnslusjóður. (2017). *Ársskýrsla – 2016*. Reykjavík: Úrvinnslusjóður.

Vegagerðin. (2006a). *Handbók um yfirborðsmerkingar* (Kafli 1-5). Reykjavík: Vegagerðin / Gatnamálastofa.

Vegagerðin. (2006b). *Handbók um yfirborðsmerkingar* (Kafli 6-10). Reykjavík: Vegagerðin / Gatnamálastofa.

Vegagerðin. (2019). *Efnisrannsóknir og efniskröfur, kafli 2: Inngangur*. Sótt 5. apríl 2019 af [http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Kafli2_Inngangur_2019/\\$file/Kafli2_Inngangur_2019.pdf](http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Kafli2_Inngangur_2019/$file/Kafli2_Inngangur_2019.pdf)

Vegagerðin. (e.d.). *Leiðbeiningar og reglur vegna sumarþjónustu, Stikur*. Sótt 5. apríl 2019 af <http://www.vegagerdin.is/upplýsingar-og-utgafa/leidbeiningar-og-stadlar/sumarthjonusta//f2cbf3783d9a556600257110004a1520?OpenDocument>

Virginia Department of Transportation. (2012). *Chapter 2 reflective glass beads*. Sótt 1. júní 2018 af http://www.virginiadot.org/business/resources/materials/mcs_study_guides/bu-mat-pavemarkch2.pdf

Walker, D. (e.d.). *Understanding how tires are used in asphalt*. Sótt 26. júní 2018 af <http://asphaltmagazine.com/understanding-how-tires-are-used-in-asphalt/>

Woodford, C. (2017). *Rubber*. Sótt 5. júní 2018 af <https://www.explainthatstuff.com/rubber.html>

Þorbjörg Sævarsdóttir, Guðni Jónsson, Hafdís Eygló Jónsdóttir, Kai Westphal, Ellert Alexandersson og Þórður Ingimar Kristjánsson. (2017). *Endurvinnsla steypu í burðarlög vega*. Reykjavík: EFLA.