

Tæknileg skýrsla

Lífólía við endurvinnslu malbiks

Fýsileikamat



ReSource International ehf.

Árleynir 8, 112 Reykjavík, Iceland

+41 (0)78 200 97 87 | +354 571 5864

resource.is

Um skýrsluna

Titill:

Lífolía við endurvinnslu malbiks

Útgáfa: **1.0**

Dagsetning útgáfu: **30.09.2022**

Höfundar:

Marteinn Möller marteinn@resource.is

Gæðastjórar:

Sigrún Sigurgeirsdóttir, ReSource International ehf.

Nicolas Marino Proietti, ReSource International ehf.

Edda Sóley Þorsteinsdóttir, Tæknisetur ehf.

Ráðgjafarfyritæki:

ReSource International ehf.

Árleytir 8, 112 Reykjavík

+41 (0)78 200 97 87 | +354 571 5864

resource.is

Viðskiptavinur:

Vegagerðin

Tengiliður:

Birkir Hrafn Jóakimsson

+354 522 1000 |

bhj@vegagerdin.is



Samantekt

Endurvinnsla malbiks fer sífellt í aukana hérlandis vegna þess umhverfislega og fjárhagslega ágóða sem hlýst af því að innleiða hringrásahagkerfi í malbikunargeirann. Gæði endurunnis malbiks hafa sannað sig og er það notað í sífellt auknum mæli. Öldrunin á malbikinu veldur þó því að bikið stífnar sem takmarkar gæði þess og endingu. Því hefur verið brugðið á það ráð að blanda íaukum á borð við lífólíur út í það til að endurheimta upprunalegu eiginleika þess.

Lífólíur eru jafn mismunandi og þær eru margar en prófanir hafa sýnt fram á hagkvæmnina og getu þess til að endurheimta gæða malbiks eftir endurvinnslu. Blönduna þarf að prófa eftir því hve hátt hlutfall af endurunnu malbiki er notað, hve gamalt endurrunna malbikið er og hverslags malbik er notað til að tryggja gæði og endingu malbiksblöndunnar.

Til þess að finna hæfilegt magn af lífólíu sem íauka í endurrunna malbiksblöndu er mælt til þess að nota hærra hitastigsgildi frammistöðuprófunnar PG. Með því er fundið nægilegt magn íauka til móts við endurrunnið malbik til að endurheimta upprunalegu eiginleika biksins. Þegar rétt magn íauka hefur verið fundið er hægt að útbúa malbiksblönduna fyrir staðbundnar aðstæður og gera gerðaprófanir á henni.

Ef áætlað er að nota íauka í miklu magni er mælt til þess að gera frammistöðuprófanir á lægra hitastigs gildi PG svo hagræða megi magni íaukans í blönduna. Búnaður fyrir þess lags prófanir eru ekki aðgengilegur í dag á Íslandi og því seinlegt að gera þær prófanir. Einnig er mælt með því að gera prófanir á áhrifum öldrunar á malbiksblöndunni til þess að tryggja endingu þess. Tækjabúnaður til þess skortir einnig hérlandis en þó mætti gera þær að einhverju leiti með *rolling thin-film oven test (RTFOT)*.

Verkefnið var styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar. 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.

Efnisyfirlit

Inngangur	1
Tilfni til notkunar lífólía í endurunnu malbiki	1
Eiginleikar lífólía	3
Prófanir á eiginleikum eftir endurvinnslu	4
Útfærsla tilrauna með blöndun lífólíu sem íauka í endurrunnið malbik	4
Hönnun malbiksblöndu	5
1. skref: Val á íauka	6
2. skref: Ákvörðun á þolvikum íaukans með bik prófunum	6
3. skref: Fæst íauka bætt malbiksblanda staðist staðbundnar gerðaprófanir	8
Lokaorð	9
Heimildir	10

Inngangur

Malbik er framleitt úr hágæða hráefnum af takmörkuðum auðlindum svo sem steinefnum og jarðefnaolíum. Jarðefnaolíur eru takmörkuð auðlind og er vinnslan einnig mengandi. Skortur á henni á heimsmarkaði ásamt heimsmarkmiðum um sjálfbærni, hafa drifið malbiksframleiðendur og vísindafólk til að leita leiða sem lágmarka þörf jarðefnaeldsneytis við sinn iðnað (Colbert et al., 2016; Ghabchi & Castro, 2021; Zhang et al., 2021).

Því hefur endurunnið malbik verið að ryðja sér til rúms í malbiksgeiranum. Þá eru malbikaðir vegir endurunnir eftir að lífstíma þeirra líkur með malbiki sem hefur verið fræst eða rifið upp, vegna enda á líftíma eða breytinga. Þetta malbik, hvort sem um ræðir blöndu af nýju og endurunnu eða hreinu endurunnu malbiki hefur aðra eiginleika en nýtt malbik. Stafar það helst af öldrunaráhrifum á bikinu sem oxast með tímanum og notkuninni (Blanchette et al., 2020; Tran et al., 2017; Zaumanis et al., 2014; Zhang et al., 2021). Til þess að koma til móts við þessi öldrunaráhrif eru eiginleikar endurunna malbiksins bættir með íauka, eða íaukum, svo það mæti stöðlum um gæði, öryggi og endingu.

Eftir því sem höfundur best veit eru íaukar ekki notaðir hérlandis við endurvinnslu malbiks. Endurunnið malbik er sjaldan notað í háu hlutfalli á nýju malbiki og því ekki tilefni til að prófa íauka. Vonir standa til um að breyta þessu á næstu árum með aukinni þekkingu á endurvinnslu malbiks þannig að minna hlutfall af nýju malbiki sé notað. Til þess að tryggja gæði endurunna malbiksins gætu malbiksframleiðendur því nýtt sér íauka við sína framleiðslu. Markmiðið með þessari skýrslu er að leggja drög að prófunum sem gera þurfi við tilraunir á íaukum í endurunnið malbik. Slíkar prófanir þurfa skilgreind efri og neðri mörk af íauka ásamt útskýringu á því af hverju þessi mörk ráðast. Hér verður reynt að svara því hvað ráði of háu eða of lágu hlutfalli íauka og hvernig megi finna hlutfall sem henti staðbundnum aðstæðum.

Tilefni til notkunar lífólía í endurunnu malbiki

Endurvinnsla á malbiki hefur jákvæð umhverfisleg og fjárhagsleg áhrif vegna þess sparnaðar á takmörkuðum auðlindum sem hún hefur í för með sér ásamt því að spara orku við uppgröft, vinnslu og flutning á nýju efni (Guðrún Guðmundsdóttir & Ingibjörg A. Bergþórsdóttir, 2020). Endurunnið malbik er því sífellt notað í auknum mæli og hefur reynst víða vel (Su et al., 2018).



Aftur á móti hefur reynsla og rannsóknir sýnt fram á að endurunnið malbik hefur tilhneigingu til að springa (*e. cracking*). Þetta stafar helst af því að bikið verður brothættara við oxun sem leiðir af sér hrörnun með tímanum, sem gerir það viðkvæmara fyrir sprungumyndun og efnapreytu. Til að mæta þessum breytingum á malbikseiginleikum og auka hlutfallið af endurunnu malbiki í malbiks blöndum, eru notaðir íaukar til að veða á móti áhrifum öldrunarinnar. Þessum íaukum má gróflega skipta í tvo hópa; íauka gerða úr takmarkaðri auðlind á borð við jarðefnaolíur og íauka gerða úr lífrænum og endurnýjanlegum afurðum, á borð við dýra- og plöntuolíur. Íaukar sem gerðir eru úr lífrænu afurðunum nýta oft lítt nýttar hliðarafurðir annarrar afurða á borð við lýsi (sæolía) og timbri. Ásamt því að skipta út jarðefnaolíum alfarið út fyrir lífolíur í malbiki hafa miklar tilraunir farið fram með að skipta þessum íaukum í endurunnu malbiki út fyrir lífolíur (Zhang et al., 2021).

Aukaafurð sem til verður við framleiðslu á omegaþykki úr búklýsi fiska, etylesterar, sem nefnd er sæolía er sú afurð sem nú er unnið með við lögn klæðningar á Íslandi (Gunnar H. Guðmundsson & Sigursteinn Hjartarson, 2012). Sæolíunni er blandað í bik í stað hvítspíra (*e. whitespirits*) vegna þeirrar mengunar sem stafar af efninu bæði á vinnuumhverfi og náttúrunni. Áhrif lífolíu hefur verið rannsökuð á klæðningu héraendis (Arnar Ágústsson, 2014) en hún er notuð til að lækka seigju biksins við útlagninu sem gerir malbikurum kleift að leggja malbikið út við lægra hitastig en ella. Þetta sparar eldsneyti sem fer í upphitun á malbiksblöndunni og hefur þannig jákvæð umhverfis- og efnahagsleg áhrif. Þessi aðferð hefur reynst það vel að framleiðsla sæolíunnar héraendis annar ekki eftirspurninni og því er sæolía flutt inn til landsins.

Eins og komið hefur fram tíðkast að nota íauka í endurunnið malbik af malbiksframleiðendum. Tilgangur íaukanna er að (1) endurheimta stöðuga eiginleika í öldruðu malbikinu sem samræmast viðeigandi kröfum á tilætluðu malbikunar verkefni; (2) endurheimta efnæiginleika aldraða malbiksins sem gera því kleift að endast lengur; (3) tryggja það að nægilegt viðbótarbindiefni sé í blöndunni til að húða nýtt malarefni og uppfylla kröfur um hönnun blöndunnar. Bikið í aldraða malbikinu sem notað er til endurvinnslu er orðið stífara samanborið við nýtt bik og því verður malbik sem inniheldur endurunnið malbik að jafnaði stífara miðað við nýtt malbik.



Við öldrunina breytist hlutfall asfaltena (*e. asphaltenes*) og maltena (*e. maltenes*), en saman mynda þessi efni bikið að mestu leyti, og leiðir það til aukins stífleika og seigju ásamt því að sveigjanleikinn minnkar. Efnafræðilega oxast póluðu resínin, sem gefur þeim aukin póluð sem gerir þeim auðveldara að mynda sameindir með asfaltenum. Með auknum asfaltenum losna maltenin út í andrúmsloftið (Zaumanis et al., 2014). Rannsóknir á íaukum í endurunnið malbik hefur þ.a.l. beinst að sprungu- og hjólfaramyndun á endurunnu malbiki sem afleiðing af stífara malbiki. Athygli sérfræðinga beinist þá sérstaklega að malbiksblöndum með háu hlutfalli af endurunnu malbiki (Mogawer et al., 2016; Tran et al., 2012, 2017).

Helstu niðurstöður úr rannsóknum á áhrif íauka á endurunnar malbiksblöndur má draga saman sem hér segir:

- Íaukar geta mýkt aldraða bikið og minnkað stífleika malbiksblanda með endurunnu malbiki.
- Íaukar geta minnkað mótstöðu malbiksblanda með endurunnu malbiki við varanlegri aflögun.
- Íaukar geta bætt rakanæmni endurunnu blöndunnar.
- Íaukar geta bætt mótstöðu endurunnu blöndunnar við sprungumyndun.
- Íaukar geta minnkað öldrunaráhrif malbiksblöndunnar.

Eiginleikar lífolía

Stórar samantektar rannsóknir hafa verið gerðar á lífolíu blöndun við malbikun en lítið er að finna um blöndun sæolíu út í malbik og þess þá síður út í endurunnið malbik (Guarin et al., 2016; Zhang et al., 2021). Lífolíur sem hafa verið skoðaðar eru helst frá dýraafurðum á borð við svín og úrgangs afurðum frá landbúnaði t.d. repju, pálm eða við (Blanchette et al., 2020; Guduru et al., 2021; Zahoor et al., 2021; Zhang et al., 2021). Þessar olíur eru algengastar vegna framboðs þeirra þar sem þær eru hliðaraafurðir stærri iðnaðar. Helstu niðurstöður samantekta rannsókna á breytileika þessara lífolía eru:

- i. Þær eru verulega flókin efni með fjölbreytilegu efnainnihaldi og eiginleikum. Lífolíur eru af svo fjölbreytilegum uppruna að erfitt er að skilgreina þær eða staðla. Samanborið við jarðefnaolíur, þá hafa lífolíur hærra súrefnis (O) samsætur og virka súrefnishópa.



- ii. Íblöndun lífolía bætir framleiðsluþægindin, *fatigue resistance*, og lághitastigs hæfni malbiks. Aftur á móti versna eiginleikar malbiksins við hærri hitastig með íblöndun lífolía, m.ö.ö. efra frammistöðugildi (Superpave-flokkun) lækkar á meðan það neðra gerir slíkt hið sama.
- iii. Áhrif lífolía á frammistöðu malbiksblanda er breytileg eftir uppruna lífmassans, sérstaklega á hvað það spannar í hitastigs frammistöðugildi og raka eða vatnsnæmni þess.
- iv. Til þess að bæta frammistöðu lífolíu blandaðs malbiks, hafa flestar rannsóknir takmarkast af því að nota við íblöndunar efni með lífolíunni til að bæta jarðefnaolíu malbik.

Prófanir á eiginleikum eftir endurvinnslu

Prófanir Guduru o.fl. (2021) benda til þess að hjólfaramyndun í malbiksblöndum vegna of mikillar mýkingar af völdum íauka ættu ekki að vera vandamál ef magnið er í samræmi við mýkingar markið við 60°C. Einnig er talið að lægra hitastigs gildi frammistöðuflokkunar PG geti verið notað til að reikna út rétt magn íauka til að hjólfaramyndun verði ekki vandamál í malbiksblöndunni (Arámbula-Mercado et al., 2018; Fujie Zhou, 2018).

Svo virðist sem áhrif íaukanna dvíni með tímanum, þ.e. öldrun á sér stað, en samanborið við malbiksblöndu án íauka stendur endurunnið malbik sig marktækt betur með íaukum eftir að hafa viðgengist öldrun (Epps Martin et al., 2017). Öldrunaráhrifa verður marktækt minna vart og sprungumyndun er minni á malbiksblöndum með íaukum miðað við malbiksblöndur án íauka eftir að báðar blöndurnar voru láttnar viðgangast öldrunarmeðferð (Blanchette et al., 2020).

Útfærsla tilrauna með blöndun lífolíu sem íauka í endurunnið malbik

Vegna þeirra mismunandi eiginleika sem lífolíur hafa væri ekki vænlegt að nota þær í endurunnið malbik á Íslandi án þess að hafa framkvæmt víðtækar prófanir á blöndunni með sýnum úr endurunnu malbiki frá Íslandi. Þetta stafar af þeim flóknu efnafræðilegu eiginleikum sem lífrænar olíur hafa (Zhang et al., 2021). Til að nota megi lífolíur í endurunnið malbik héraendis þarf þ.a.l. að svara þeim spurningum, og framkvæma þær prófanir, sem hér segir:

- 1) Hvernig áhrif hefðu lífolíur sem íaukar á frammistöðugildi biksins (Frammistöðuflokkun, PG)



- 2) Hvað er notkunarhitastigið við:
 - a) Blöndunina
 - b) Lagningu malbiksins
 - c) Þjöppun eftir lagningu malbiksins
- 3) Hver eru áhrifin á stöðugleika og flæði malbiksblöndunnar?
- 4) Hvert er tilvalið hlutfall lífólíu sem íauka og hvernig er það fundið með tilliti til hlutfalls af endurunnu malbiki?
- 5) Hvernig myndi áhrifin á malbiksblönduna vera ef of lífólíurík blanda væri notuð fyrir slyzni?
- 6) Hver eru langtíma áhrif íaukans á blönduna?
- 7) Gætu íaukar hindrað endurvinnsluna á malbikinu?

Hönnun malbiksblöndu

Blöndunar hlutfallið skiptir máli við endurvinnslu malbiks með íaukum en ekki síður skiptir máli með hvaða hætti íaukunum er blandað út í malbiksblönduna er ítrekað sem eitt af aðalatriðunum til að ábyrgjast gæðin á malbikinu (Blanchette et al., 2020). Aðferðinni sem er beitt hefur líklega áhrif á frammistöðu malbiksblöndunnar á annað hvort jákvæðan hátt eða óhagstæðan (Bieder et al., 2016). Þannig er magn eða hlutfall íaukans ekki eingöngu mikilvægt heldur er blöndunaraðferðin ekki síðri. Nokkrar aðferðir hafa viðgengist við blöndun íauka, m.a. beint í geymsluhaugana þar sem blandan er sögð „marinerast“, blöndun í vinnslulínu við malbikun og við blöndun á malbikunarstöð. Blöndun á malbikunarstöð gefur bestu yfirsýn og stjórn á blöndunarhlutfalli en krefst skipulags. Blöndunar aðferð þarf því að velja eftir því sem hentar hverri malbikun best og í samræmi við val á íauka. Bieder o.fl. (2016) mæla með því að prófa að freyða malbiksblöndur með endurunnu malbiki og íaukum til að lækka lagningar hitastigið. Hitunin eykur öldrun biksins og herðir hana, því er endingin talin betri ef malbiksblandan er lögð við lægra hitastig.

Eiginleikar íaukans eru ómissandi til að ná árangursríkri blöndu. Aftur á móti eru það eiginleikar malbiksblöndunar sem hafa úrslita áhrif á frammistöðu hennar við notkun. Þar af leiðandi er lagt til að hönnunaraðferðin og frumgerðarprófanir fyrir malbiks blöndur sem innihalda endurinnið malbik ásamt íaukum innihaldi a.m.k. þrjá þætti.

1. Val á íauka til endurheimtu á eiginleikum á endurunnu malbiki.



2. Ákvörðun á þolvik íaukans til að uppfylla kröfur biksins og endurheimta upprunalega eiginleika þess (eða því sem næst er komið).
3. Velja viðeigandi hlutfall íauka miðað við eiginleika malbiksblöndu til að mæta staðbundnum kröfum með tilliti til þeirra gerðaprófanna sem við á.

1. skref: Val á íauka

Fylgst er með magni og stífleika malbiksins í endurunnu blöndunni við val á íauka. Þumalputtareglan við val á íauka í endurunnið malbik er að nota íauka með lægra gildi eftir því sem endurrunna malbikið er stífara. Ákveðnir íaukar ganga einungis saman við ákveðnar tegundir biks úr endurunnu malbiki og því verður að velja það eftir forskriftum sem ekki verður hægt að fara nánar út í hér en umfjöllun má finna t.d. hjá Prospero & Bocci (2021). Aftur á móti leggur höfundur til að íaukar sem til greina koma hafi þrjá eiginleika.

- a) Framleiddir úr umhverfsvænum afurðum eða ófullnýttri hliðarafurð. Þannig sé ekki verið að skerða umhverfiságóðann sem hlýst af auknu endurunnu malbiki með óumhverfsvænni framleiðslu.¹
- b) Efnið er aðgengilegt og því hægt að sækja meira af því ef vel reynist og endurvinnsla malbiks eykst eins og vonir standa til.
- c) Fjárhagslegur kostnaður af henni vegi ekki á móti þeim fjárhagslega sparnaði sem hlýst af því að endurvinna malbik. Kostnaður gæti falist þá í lítraverði, flutningi eða gengi.

2. skref: Ákvörðun á þolvikum íaukans með bik prófunum

Íaukar lækka hærri hitamörk frammistöðugildis (PG) bikblöndunnar. Neðri hitamörk frammistöðu gildis þolvika á blöndu íauka og biks eru þess vegna alltaf 0% af íauka eða hrein bikblanda miðað við heildarþyngd biksins af malbiksblöndunni. Því er helst að finna efri mörk þolvika af hlutfalli íauka í malbiksblönduna. Aftur á móti eru öldrunaráhrif á endurunnu malbiki áhyggjuefni meðal rannsakenda og því vert að prófa eiginleika malbiksins eftir öldrun við neðra markið í frammistöðuflokkuninni með sem minnstum íauka. Þannig væri hægt að finna hvort

¹ Greining á umhverfisáhrifum mætti framkvæma með vistferilsgreiningu (Guðrún Guðmundsdóttir & Ingibjörg A. Bergþórsdóttir, 2020)



eitthvað lágmarks hlutfall íauka sé nauðsynlegt til þess að uppfylla kröfur Superpave eftir öldrun. Þannig mætti einnig draga úr kostnaði sem fælist í of miklu magni íauka í blöndunni.

Áhrif íauka á frammistöðugildi biks er sögð ólínuleg (Chaffin et al., 1995). Eftir því sem meiri íauka er blandað út í bikið minnkar hlutfallsleg breyting á frammistöðugildi á efri hitamörkin. Aftur á móti helst hlutfallið nokkuð stöðugt yfir fimmtunga blöndunar hlutfalla (bik/íauki), þ.e.a.s fylgni frammistöðugilda biks er línuleg á 20% mörkum. Þ.a.l. er hægt að gera ráð fyrir því að á meðan hlutfall íaukans í bikblönduna er <20% eru áhrif þess línuleg á frammistöðugildi biksins.

Skilja þarf bik frá endurunnu malbiki til að prófa eiginleika þess eftir að íaukum hefur verið bætt út í það. Til þess er fylgt staðli um endurheimt biks úr malbiki (ÍST EN 12697-4:2015) en eins og staðan á tækjakosti er hérlendis í dag er það ekki mögulegt (Marteinn Möller, óútgefið)

Breytinguna á efri hitamörk frammistöðugildisins á bikblöndunni upp í 20% af íauka þarf þá finna með prófunum með mismiklu hlutfalli íauka. Því fleiri sýni sem gerð eru því nákvæmara verður hægt að útbúa lokablönduna en yfirleitt þarf minna en 10% af íauka til að ná efri hitamörkum frammistöðugildisins. Mælist höfundur því með að flest sýni séu útbúin með >0% - 10% íauka og einungis ein samanburðaprófun með 20% íauka ef þörf er talin á því að finna línulegu fylgnina.

Valið er hlutfall blöndu af endurunnu biki og nýju, t.d. 30% endurrunnið og 70% nýtt bik. Þá eru útbúin sýni með þeirri blöndu til samanburðar, og því næst er hlutfall nýja biksins minnkað eftir því sem meiri íauka er bætt út í blönduna, t.d. 2%, 5%, 10%, og 20% íauki á móti 68%, 65%, 50%, og 40% bik eða samanlagt fimm blöndur.

Sýni úr hverri blöndu er þá látið undirgangast (A) frammistöðu prófanir á efri hitamörkum og neðri hitamörkum með hefðbundnum aðferðum á borð við Superpave PG og (B) gerðaprófanir líkt og þeim sem lýst er í efnisriti Vegagerðarinnar (Pétur Pétursson & Gunnar Bjarnason, 2022). Þannig er fundið hæsta hlutfall af íaukum miðað við efri hitamörk í frammistöðuflokkun PG og lægsta hlutfall með neðri hitamörkum frammistöðuflokkun PG. Til þess að finna efri hitamörk frammistöðuflokkun PG er fylgt staðli AASHTO 315-22 en tækjabúnaður til þess er nýlega tiltækur á Íslandi (Björk Úlfarsdóttir & Eyja Camille Bonthonneau, 2022). Aftur á móti eru neðri hitamörk frammistöðuflokkun PG fundin eftir staðlinum AASHTO T313-22 með tæki sem ekki eru tiltæk



hérlandis. Neðri hitamörkin eru fengin til að tryggja að sprungumyndun eigi sér ekki stað vegna aukins stífleika malbiksblöndunnar.

Til þess að geta framkvæmt mælingarnar með þeim tækjum og búnaði sem tiltækur er hérlandis væri hægt að miða einungis við efri hitamörk frammistöðuflokkunar PG þannig að bikið standist. Við það væri hæsta hlutfall íauka notað í endurunna malbiksblönduna. Þetta myndi svara aukins framleiðslu kostnaðar á malbiksblöndunni vegna þess að líklega væri um meiri íauka að ræða en nauðsynlegt væri. Annars þyrfti að senda sýni á rannsóknarstofur erlendis sem gætu framkvæmt mælingar á neðri hitamörk frammistöðuflokkun PG. Líklegt er að þess þyrfti ef út í rannsókn af þessu tagi væri farið vegna þess að ekki er hægt að skilja bik frá endurunna malbiki eins og áður hefur komið fram.

Vegna þess að áhrif íauka á langtíma frammistöðu biksins hafa verið dregin í efa er mælt til þess að áhrif öldrunar séu þar að auki prófuð. Þetta er jafnan gert með Glover-Rowe (G-R) skemmdarmörkunum eftir þrýstiöldrun (*e. Pressure Aging Vessel*) (Anderson et al., 2011; Fujie Zhou, 2018). Þetta eru þó aðferðir sem hefur ekki tíðkast að nota á Íslandi og er tækjabúnaður ekki til staðar svo höfundur viti. Þyngdartap við upphitun (*e. Rolling Thin Film Oven Test* eða RTFOT) er þekkt aðferð sem hefur viðgengist hérlandis en er hins vegar einungis mæling á öldrunar áhrifum við útlögn en ekki eftir líftíma í notkun, líkt og þrýstiöldrunin gerir (Björk Úlfarsdóttir & Eyja Camille Bonthonneau, 2022; ÍST EN 12607-1:2014).

Ef farið væri eftir hefðbundnum aðferðum hérlandis væru næstu skref að finna út gerðaprófanir samkvæmt staðli ÍST 75:2013 um framleiðslu á malbiki.

3. skref: Fæst íauka bætt malbiksblanda staðist staðbundnar gerðaprófanir

Þegar niðurstöður skrefs 1 og 2 eru til staðar er hægt að útfæra gerðaprófanir á malbiksblöndu fyrir staðbundnar aðstæður hérlandis. Ef farið er þá leið að finna einungis efra hitamark frammistöðuflokkunar PG í skrefi 2 þyrfti einungis að útbúa sýni með íauka sem næði efri hitamörkum framkvæma gerðaprófanir samkvæmt staðli ÍST 75:2013 um framleiðslu á malbiki. Myndi blandan þá annaðhvort standast þær eða falla en hagræðing á réttri íauka blöndu væri ábótavant. Úr þessu mætti bæta ef niðurstöður gerðaprófana og hæsta hlutfalli íauka blöndu reyndust góðar.



Lokaorð

Þegar hafist var handa við verkefnið var markmiðið að straumlínulaga ferlið að aukinni endurvinnslu malbiks á Íslandi og finna út úr því hvort sæolían sem notuð er í klæðingar í dag væri fýsilegur kostur sem íauki í endurunnið malbik. Eftir nánari athugun kom í ljós að sæolían gæti reynst vel sem íauki en hún væri þar með sagt ekki endilega rétti íaukinn. Sú lífolía sem væri ákjósanlegastur yrði að skoða nánar út frá umhverfisáhrifum, kostnaði og aðgengilegu magni.

Næstu skref að notkun íauka í endurunnið malbik liggja fyrir en mikilvægt er að gera prófanir á eiginleikum malbiksblöndunnar áður en hafist er handa við útlagningu á blöndunni. Endurunnið malbik hefur margvíslega eiginleika og undirgengist mismikla öldrun. Því ítrekar höfundur að gerðir prófana séu sem flestar og því fleiri blöndur sem gerðar yrðu því fleiri malbiksblöndur gætu verið tilbúnar til útlagningar eftir því sem framboð á endurvinnanlegu malbiki eykst. Eftir að fundnar hafa verið nokkrar ákjósanlegar blöndur sem mætti nota í útlagningu væri hægt að halda áfram prófunum á þeim sem algengastar yrðu þar sem réttu magni íauka væri fundið til hagræðingar.

Heimildir

- Arámbula-Mercado, E., Kaseer, F., Epps Martin, A., Yin, F., & Garcia Cucalon, L. (2018). Evaluation of recycling agent dosage selection and incorporation methods for asphalt mixtures with high RAP and RAS contents. *Construction and Building Materials*, 158, 432–442. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.024>
- Arnar Ágústsson. (2014). *Fish Oil in Icelandic Road Constructions: A Case Study of Bituminous Binder Mixtures Modified With Bio-Oil* [Master's thesis, Kungliga tekniska högskolan]. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-149535>
- Bieder, A., Hofer, T., & Demarmels, A. (2016). *Asphalt recycling and foam bitumen – a combined approach*. <https://doi.org/10.14311/EE.2016.137>
- Björk Úlfarsdóttir & Eyja Camille Bonthonneau. (2022). *Eiginleikar á bikbindiefnum: Rannsóknir með DSR* (No. 1800–753; p. 13). [https://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/NR_1800_753_Eiginleikar_a_bikbindiefnum_2020-2021/\\$file/NR_1800_753_Eiginleikar%20%C3%A1%20bikbindiefnum%202020-2021.pdf](https://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/NR_1800_753_Eiginleikar_a_bikbindiefnum_2020-2021/$file/NR_1800_753_Eiginleikar%20%C3%A1%20bikbindiefnum%202020-2021.pdf)
- Blanchette, A., Lee, S. T., & Wood, T. (2020). *Asphalt Mix Rejuvenators Synthesis* (Final Report No. NRRA202002; p. 26). National Road Research Alliance.
- Chaffin, J. M., Davison, R. R., Glover, C. J., & Bullin, J. A. (1995). VISCOSITY MIXING RULES FOR ASPHALT RECYCLING. *Transportation Research Record*, 1507. <https://trid.trb.org/view/453063>
- Colbert, B., Mohd Hasan, M. R., & You, Z. (2016). A hybrid strategy in selecting diverse combinations of innovative sustainable materials for asphalt pavements. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 3(2), 89–103. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.02.001>
- Fujie Zhou. (2018). Balanced RAP–RAS–Recycling Agent Mix Design for Project-Specific Conditions. In *Innovations in Asphalt Mixture Design Procedures* (pp. 44–59). Transportation Research Board. <https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec237.pdf>
- Ghabchi, R., & Castro, M. P. P. (2021). Evaluation of a biofuel residue-derived recycling agent with a low carbon footprint. *Transportation Engineering*, 5, 100085. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2021.100085>
- Guarin, A., Khan, A., Butt, A. A., Birgisson, B., & Kringos, N. (2016). An extensive laboratory investigation of the use of bio-oil modified bitumen in road construction. *Construction and Building Materials*, 106, 133–139. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.009>
- Guðrún Guðmundsdóttir & Ingibjörg A. Bergþórsdóttir. (2020). *Endurrunnið malbik á Íslandi: Gagnaöflun, Vistferilsgreining og Efnahagsgreining* (No. 1800–719; p. 29). <https://www.vegagerdin.is/media/rannsoknir/1800-719-Endurunnid-malbik-a-%CC%81-1%CC%81slandi--1-.pdf>
- Guduru, G., Kumara, C., Gottumukkala, B., & Kuna, K. K. (2021). Effectiveness of Different Categories of Rejuvenators in Recycled Asphalt Mixtures. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 147(2), 04021006. <https://doi.org/10.1061/JPEODX.0000255>
- Gunnar H. Guðmundsson & Sigursteinn Hjartarson. (2012). *Íslenskar olíur til vegagerðar* (p. 20). Vegagerðin.



- [https://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Isli_oliur_til_vegag/\\$file/%C3%8Dslenskar%20ool%C3%ADur%20til%20vegager%C3%Boar.pdf](https://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Isli_oliur_til_vegag/$file/%C3%8Dslenskar%20ool%C3%ADur%20til%20vegager%C3%Boar.pdf)
- ÍST 75. (2013). *Framleiðsla á malbiki*. Staðlaráð Íslands. <https://stadlar.is/stadlabudin/vara/?ProductName=IST-75-2013>
- ÍST EN 12607-1. (2014). *Bitumen and bituminous binders—Determination of the resistance to hardening under influence of heat and air—Part 1: RTFOT method*. Staðlaráð Íslands. <https://stadlar.is/stadlabudin/vara/?ProductName=IST-EN-12607-1-2014>
- ÍST EN 12697-4. (2015). *Bituminous mixtures—Test methods for hot mix asphalt—Part 4: Bitumen recovery: Fractionating column*. Staðlaráð Íslands. <https://stadlar.is/stadlabudin/vara/?ProductName=IST-EN-12697-4-2015>
- Marteinn Möller. (óútgafið) *Endurvinnsla malbiksúrgangs í bundin slitlög á Íslandi*. ReSource International ehf.
- Mogawer, W. S., Fini, E. H., Austerman, A. J., Booshehrian, A., & Zada, B. (2016). Performance characteristics of high reclaimed asphalt pavement containing bio-modifier. *Road Materials and Pavement Design*, 17(3), 753–767. <https://doi.org/10.1080/14680629.2015.1096820>
- Pétur Pétursson & Gunnar Bjarnason. (2022). Efnisrannsóknir og efniskröfur: Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd. In *Efnisgæðaritið: Vol. Kafli 6: Slitlag* (p. 126). Vegagerðin. [https://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Kafli6_Slitlag_2022/\\$file/_Kafli%206%20Slitlag-loka.pdf](https://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Kafli6_Slitlag_2022/$file/_Kafli%206%20Slitlag-loka.pdf)
- Proserpi, E., & Bocci, E. (2021). A Review on Bitumen Aging and Rejuvenation Chemistry: Processes, Materials and Analyses. *Sustainability*, 13, 35. <https://doi.org/10.3390/su13126523>
- Su, N., Xiao, F., Wang, J., Cong, L., & Amirkhanian, S. (2018). Productions and applications of Bio-Asphalts: A Review. *Construction and Building Materials*, 183, 578–591. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.118>
- Tran, N., Taylor, A., & Willis, R. (2012). *Effect of rejuvenator on performance properties of HMA mixtures with high RAP and RAS contents* (NCAT No. 12–05; p. 75). National Center for Asphalt Technology. <https://www.eng.auburn.edu/research/centers/ncat/files/technical-reports/rep12-05.pdf>
- Tran, N., Xie, Z., Julian, G., Taylor, A., Willis, R., Robbins, M., & Buchanan, S. (2017). Effect of a Recycling Agent on the Performance of High-RAP and High-RAS Mixtures: Field and Lab Experiments. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(1), 04016178. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001697](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001697)
- Zahoor, M., Nizamuddin, S., Madapusi, S., & Giustozzi, F. (2021). Recycling asphalt using waste bio-oil: A review of the production processes, properties and future perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*, 147, 1135–1159. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.01.032>
- Zaumanis, M., Mallick, R., & Frank, R. (2014). Evaluation of different recycling agents for restoring aged asphalt binder and performance of 100 % recycled asphalt. *Materials and Structures*, 48, 2475–2488. <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0332-5>
- Zhang, R., You, Z., Ji, J., Shi, Q., & Suo, Z. (2021). A Review of Characteristics of Bio-Oils and Their Utilization as Additives of Asphalts. *Molecules*, 26(16), 5049. <https://doi.org/10.3390/molecules26165049>



