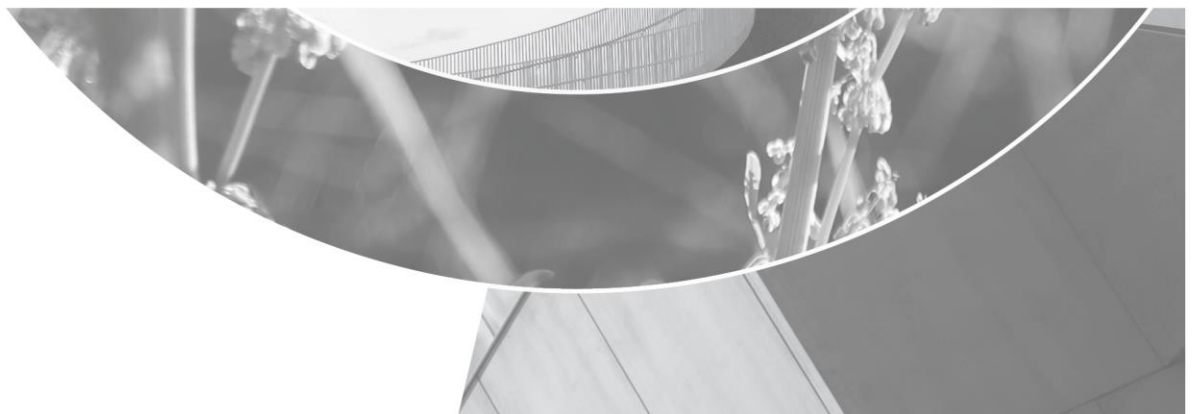


## RAFBÍLAR- ÁHRIF Á HLJÓÐSTIG OG TÍÐNIRÓF

Rannsóknarverkefni styrkt af Vegagerðinni

31.10.2019



## SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ

### SKJALALYKILL

2970-312-SKY-001-V01

### SÍÐUFJÖLDI

25

### VERKEFNISSTJÓRI / FULLTRÚI VERKKAUPA

Þórir Ingason

### VERKEFNISSTJÓRI EFLA

Ólafur Daníelsson

### LYKILORÐ

Hljóðstig, umferðarhávaði, tíðniróf, rafbílar, bensín, dísel

### STAÐA SKÝRSLU

- Í vinnslu  
 Drög til yfirlustrar  
 Lokið

### DREIFING

- Opin  
 Dreifing með leyfi verkkaupa  
 Trúnaðarmál

### TITILL SKÝRSLU

Rafbílar - áhrif á hljóðstig og tíðniróf

### VERKHEITI

Rafbílar - áhrif á hljóðstig og tíðniróf

### VERKKAUPI

Vegagerðin

### HÖFUNDUR

Kristinn Örn Björnsson  
Kristrún Gunnarsdóttir

### ÚTDRÁTTUR

Tilgangur rannsóknarverkefnisins er að skoða hvaða áhrif mismunandi aflgjafar kunna að hafa á hljóðstig í umhverfinu og þær mótvægis-aðgerðir sem ráðist er í vegna umferðarhávaða.

Framkvæmdar voru mælingar á hljóðgjöf frá sambærilegum bifreiðum sem hafa mismunandi aflgjafa og bornar saman niðurstöður mælinga á hljóðstigi frá þeim og einnig saman borinn saman mismunur í tíðnirófi.

## ÚTGÁFUSAGA

NR.	HÖFUNDUR	DAGS.	RÝNT	DAGS.	SAMÞYKKT	DAGS.
01	Kristinn Örn Björnsson Kristrún Gunnarsdóttir Rannsóknarskýrsla	30.10.19	Ólafur Daníelsson	30.10.19	Ólafur Daníelsson	31.10.19

## ÚTDRÁTTUR

Í verkefninu voru framkvæmdar mælingar á hljóðgjöf frá sambærilegum bifreiðum sem hafa mismunandi aflgjafa. Borið var saman mælt hljóðstig frá bifreiðunum og skoðaður mismunur í tíðnirófi. Mælingarnar voru framkvæmdar í samstarfi við Heklu bílaumboð sem útvegaði þrjár Volkswagen Golf bifreiðar sem ganga fyrir þremur mismunandi aflgjöfum (bensín, dísel og rafmagn). Að öðru leyti voru bifreiðarnar sambærilegar og allar á samskonar dekkjum.

Hljóðmælingar voru framkvæmdar skv. aðferð *NT ACOU 056 Road Traffic: Measurement of noise immission – survey method*. Hljóðstig frá ökutækjunum var mælt við mismunandi hraða (15 km/klst, 30 km/klst, 50 km/klst, 70 km/klst og 90 km/klst). Hverju ökutæki var ekið tvisvar sinnum fram hjá mælitækjunum á hverjum hraða, þ.e. hver biðreið fór í heildina tíu ferðir fram hjá mælitækjunum. Hljóðmælitækin mældu hljóðstig á 120 m vegkafla, 60 m í hvora átt frá hljóðnemunum. Hljóðstig var mælt samtímis í þremur hljóðnemunum staðsettum í 7,5 m, 15 m og 30 m fjarlægð frá miðju akreinar, í 2 m hæð frá jörðu. Mæld hljóðstigsgildi voru frísviðsgildi (e. *free-field*) enda engir endurkastandi fletir nálægt hljóðnemunum.

Niðurstöður rannsóknarinnar sýna að við 15 km/klst mælist hljóðstig frá rafbílum 3-4 dB lægra en hljóðstig frá bensín og dísel bílunum. Taka skal fram að í mælingunum gaf rafbíllinn ekki frá sér falskt vélarhljóð eins skylt er skv. nýjum reglugerðum Evrópusambandsins. Þegar horft er til ökuhraða á bilinu 30-90 km/klst mældist almennt lítill munur á hljóðstigi frá ökutækjunum þremur, bæði m.t.t. heildarhljóðstigs og tíðnirófs. Að vísu mældist hljóðstig frá rafbílum 1-2 dB hærra við 50 km/klst og kann sú aukning í hljóðstigi mögulega að útskýrast af auknu veghljóði vegna aukinnar þyngdar rafbílsins, en rafbíllinn í rannsókninni er u.þ.b. 300 kg þyngri en bensín og dísel bílarnir.

Niðurstöður mælinganna voru bornar saman við stöðluð tíðniróf sem almennt eru talin lýsandi fyrir umferðarhávaða. Á Íslandi og í Noregi eru slík stöðluð tíðniróf notuð til útreikninga á hljóðstigi innandyrna frá umferðarhávaða, og nauðsynlegu hljóðeinangrunargildi byggingarluta gagnvart umferðarhávaða. Umtalsverður munur reyndist á mældum tíðnirófum við 50 km/klst og  $C_{tr}$  tíðnirófinu, en það síðarnefnda ofmetur mjög lágtíðniþátt hávaðans. Gefa þessar niðurstöður því til kynna að hljóðeinangrunaraðgerðir geti mögulega verið efnisminni og ódýrari en gengur og gerist.

## EFNISYFIRLIT

ÚTDRÁTTUR	3
1 INNGANGUR	6
2 MÆLINGAR Á HLJÓÐSTIGI	6
2.1 Bílar og dekk	9
2.1.1 Golf Comfortline 1.5 TGI bensínbifreið	9
2.1.2 Golf Trendline 1.6 TDI díselbifreið	10
2.1.3 e-Golf rafmagnsbifreið	10
3 NIÐURSTÖÐUR	12
3.1 Bakgrunnshávaði	12
3.2 Hljóðstig og ökuhraði	12
3.3 Tíðniróf	13
4 UMRÆÐA	17
5 SAMANTEKT	18
HEIMILDASKRÁ	19
VIÐAUKI A VEÐURGÖGN	20
VIÐAUKI B VIÐBÓTARNIÐURSTÖÐUR	22

## MYNDASKRÁ

<b>MYND 1</b>	Staðhættir á Krýsuvíkurvegi við mælingarnar 25. júní 2019. _____	7
<b>MYND 2</b>	Staðsetning hljóðmælinga sýnd með rauðu. Mynd fengin af gagnavefsjá Samsýn. _____	7
<b>MYND 3</b>	Uppsetning mælitækja við mælingar, afstöðumynd. _____	8
<b>MYND 4</b>	Volkswagen Golf bifreiðar frá Heklu notaðar við hljóðmælingar, knúnar þremur mismunandi aflgjöfum. Mynd frá vettvangi mælinga. _____	9
<b>MYND 5</b>	Dekkin sem notuð voru undir bifreiðarnar við hljóðmælingar. Mynd frá vettvangi mælinga. _____	9
<b>MYND 6</b>	VW Golf Comfortline 1.5 TGI bensínbifreið notuð við hljóðmælingar. Mynd frá vettvangi mælinga. _____	10
<b>MYND 7</b>	VW Golf Trendline 1.6 TDI díselbifreið notuð við hljóðmælingar. Mynd frá vettvangi mælinga. _____	10
<b>MYND 8</b>	VW e-Golf rafmagnsbifreið notuð við hljóðmælingar. Mynd frá vettvangi mælinga. _____	11
<b>MYND 9</b>	Mældur bakgrunnshávaði. _____	12
<b>MYND 10</b>	Jafngildishljóðstig sem fall af ökuhraða mælt í mismunandi fjarlægð frá miðju akreinar. _____	13
<b>MYND 11</b>	Samanburður á tíðnirófi hljóðstigs frá bíltegundum. Hljóðstig mælt í 7,5 m fjarlægð frá miðju akreinar. _____	14
<b>MYND 12</b>	Breyting á tíðnirófi með ökuhraða. Hljóðstig mælt í 7,5 m fjarlægð frá miðju akreinar. _____	15
<b>MYND 13</b>	Mæld tíðniróf borin saman við stöðluð tíðniróf $C_1$ , $C_{tr}$ og $C_3$ sem talin eru lýsandi fyrir umferðarhávaða við 30 km/klst, 50 km/klst og 90 km/klst. Öll tíðnirófin hafa verið normuð þ.a. $L_{Aeq} = 0$ dB. _____	16

## 1 INNGANGUR

Rafbílar hafa verið þó nokkuð mikið í umræðunni undanfarin misseri, og er oft talað um að þeir séu alveg hljóðlausir. Það er þó ekki rétt, því þrátt fyrir að vélarhljóð séu lítil sem engin, þá er dekkjaniður óbreyttur frá öðrum hefðbundum aflugjöfum (s.s. bensín og dísel brunahreyflar).

Í þessu verkefni voru framkvæmdar mælingar á hljóðgjöf frá sambærilegum bifreiðum sem hafa mismunandi aflugjafa (bensín, dísel og rafmagn). Borið var saman mælt hljóðstig frá bifreiðunum og skoðaður mismunur í tíðnirófi. Þetta var framkvæmt með að mæla hljóðstig frá ökutækjum með mismunandi aflugjafa og á mismunandi hraða (15 km/klst, 30 km/klst, 50 km/klst, 70 km/klst og 90 km/klst). Þó svo að erlendar rannsóknir hafi verið gerðar á hljóðgjöf rafbíla þá er áhugavert að framkvæma slíka rannsókn fyrir íslenskar aðstæður, en gerð slitlags hefur til að mynda mikil áhrif á hljóðgjöf frá dekkjum. Valið var að mæla hljóðstig frá ökutækjunum í 7,5 m, 15 m og 30 m fjarlægð frá akrein, en í þéttbýli eru fjarlægðir akreina til nærliggjandi húshliða oft af þessari stærðargráðu.

Tilgangur verkefnisins var að skoða hvaða áhrif mismunandi aflugjafar kunna að hafa á hljóðstig í umhverfinu og þær mótvægisáðgerðir sem ráðist er í vegna umferðarhávaða. Ef niðurstöður rannsóknarinnar sýna að hljóðstig frá umferð muni breytast í náinni framtíð með auknu hlutfalli rafbíla, þá er gott að sjá það með fyrirvara, sérstaklega í ljós þess hve margir þéttbyggingarreitir eru nú í uppbyggingu. Tíðniróf umferðarhávaða hefur mikil áhrif á þær mótvægisáðgerðir sem beitt er í dag, bæði með hljóðmönnum, hljóðveggjum og ekki síst hljóðvarnargleri og hljóðdeyfðum loftrásam í byggingum. Sú breyting sem nú er í gangi ýtir því enn frekar undir þörf á rannsóknum á tíðnirófi umferðarhávaða m.v. breytta aflugjafa og þróun í hjólbörðum.

Verkefnið var unnið af EFLU verkfræðistofu fyrir Vegagerðina og hlaut styrk úr Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar árið 2019. Starfsmenn hljóðvistarviðs EFLU unnu að verkefninu. Bestu þakkir fá allir þeir sem lögðu verkefninu lið.

Til að framkvæma mælingarnar þurfti þrjár sambærilegar biðreiðar sem ganga fyrir mismunandi aflugjöfum. Bílaumboðið HEKLA var tilbúið að útvega þrjár biðreiðar til verkefnisins. HEKLA lánaði þrjár VW Golf fólksbifreiðar sem ganga fyrir ólíkum aflugjafa, þ.e. með bensín/metan hreyfli, dísel hreyfli og rafknúinn. HEKLA fær bestu þakkir fyrir samstarfið og lánið á bifreiðunum.

*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.*

## 2 MÆLINGAR Á HLJÓÐSTIGI

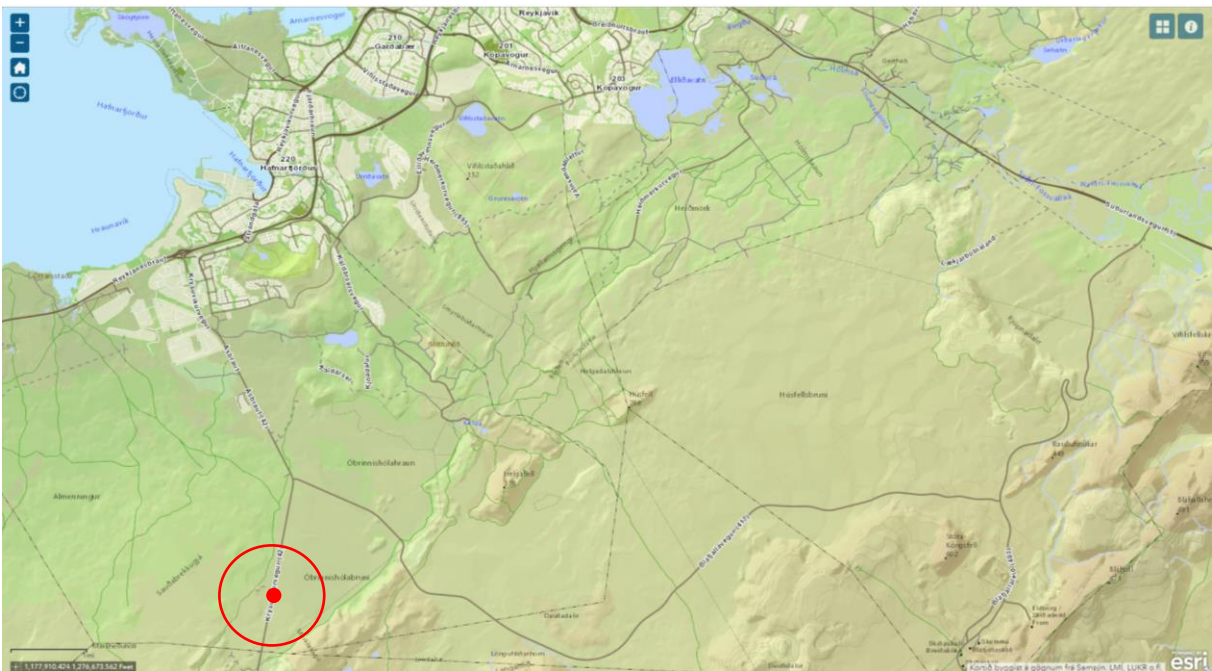
Mælingar á hljóðstigi frá ökutækjunum fóru fram á Krýsuvíkurvegi við Hellnahraun í Hafnarfirði þriðjudaginn 25. júní 2019 frá kl. 5:30 til 7:00. Mælingarnar voru framkvæmdar af starfsmönnum EFLU verkfræðistofu þeim Kristni Erni Björnssyni (vélaverkfræðingur M.Sc.), Margréti Aðalsteinsdóttur (umhverfis- og byggingarverkfræðingur M.Sc.) og Ólafi Daníelssyni (byggingarverkfræðingur M.Sc.). Á mynd 1 má sjá staðhætti á Krýsuvíkurvegi við mælingarnar.





**MYND 1** Staðhættir á Krýsuvíkurvegi við mælingarnar 25. júní 2019.

Vegkaflinn er beinn og sléttur og landslagið einnig og því tilvalinn fyrir hljóðmælingar. Nánasta umhverfi vegar er þakið mosa, sem dregur úr endurkasti hljóðs í umhverfinu. Vegkaflinn sem var ekinn við mælingarnar var um 120 m. Á mynd 2 má sjá staðsetningu mælinga á korti.



**MYND 2** Staðsetning hljóðmælinga sýnd með rauðu. Mynd fengin af gagnavefsjá Samsýn.

Malbikið á þessum kafla Krýsuvíkurvegar er frá árinu 2008 og er af tegundinni SMA16, PG 120/220, 48 mm þykkt, efni fengið úr Hólabrú. SMA (steinríkt malbik) stendur fyrir *stone mastic asphalt* og þýðir að hlutfall stærri steinefna er hærra í malbikinu í samanburði við fínni efni. SMA malbik er vinsælt á vegum eins og Krýsuvíkurvegi, þar sem umferð þungabíla er hærri en annars staðar, vegna góðrar endingar þess [1].

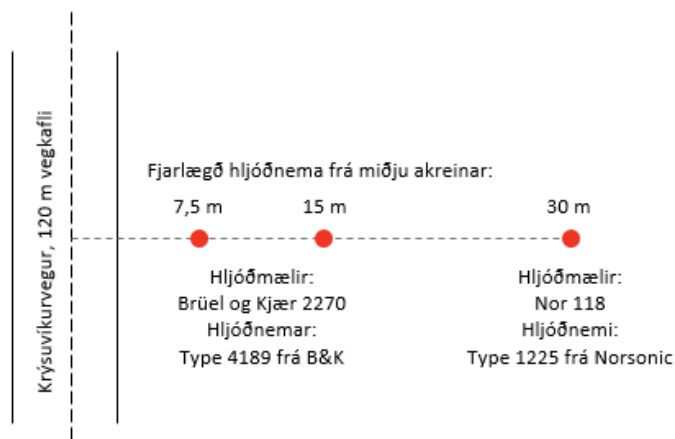
Notast var við tækjakost hljóðsviðs EFLU við mælingarnar og eftirfarandi tæki og búnaður notaður:

2270 hljóðmælir frá Brüel & Kjær  
 Nor-118 hljóðmælir frá Norsonic  
 Hljóðnema, type 4189 frá Brüel & Kjær  
 Hljóðnemi, ½" type 1225 frá Norsonic  
 Stillibúnaður (e. *calibrator*), type 4231 frá Brüel & Kjær  
 Þrífætur fyrir mælitæki  
 Þrífætur fyrir hljóðnema  
 Snúrur og hugbúnaður til útreikninga á mæliniðurstöðum

Hljóðmælingar voru framkvæmdar skv. aðferð *NT ACOU 056 Road Traffic: Measurement of noise immission – survey method*. Hljóðmælingar gerðar skv. aðferðinni skila A-vigtuðu hljóðstigi, hljóðstigi sem er leiðrétt m.v. næmi eyrans. Við mælingar er ætlast til þess að yfirborð vegar sé þurrt og nærumhverfi ófrosið og þurrt. Hljóðmælir skal vera í 2 m hæð yfir jörðu og allir hljóðnema með vindhlíf [2].

Uppsetning mælitækjanna var þannig að hljóðnemarnir þrír voru staðsettir í 7,5 m, 15 m og 30 m fjarlægð frá miðju akreinar, í 2 m hæð frá jörðu. Hljóðstig var mælt samtímis í öllum fjarlægðum frá veginum. Hljóðstig í fjarlægðum 7,5 m og 15 m var mælt með 2270 hljóðmælinum frá Brüel & Kjær og hljóðstig í 30 m fjarlægð frá miðju akreinar var mælt með Nor-118 hljóðmælinum. Afstöðumynd af uppsetningu mælitækja er sýnd á mynd 3.

Hljóðmælitækin mældu hljóðstig á 120 m vegkafla, 60 m í hvora átt frá hljóðnemunum. Mæld hljóðstigsgildi voru frísviðsgildi (e. *free-field*) enda engir endurkastandi fletir nálægt hljóðmælunum. Hverri bifreið var ekið tvisvar sinnum fram hjá mælitækjunum á hverjum hraða, þ.e. hver biðreið fór í heildina tíu ferðir fram hjá mælitækjunum.



**MYND 3** Uppsetning mælitækja við mælingar, afstöðumynd.

Þegar mælingar voru framkvæmdar var hæglætisveður, um 12 stiga hiti og hægur suðvestan vindur um 4-5 m/s. Hviður fóru mest upp í 7 m/s. Í upphafi mælinga var þurrt en við upphaf síðustu mælinganna hófst úðarigning sem gerði það að verkum að vegurinn blotnaði lítillega undir lokinn, þegar mælingar á hljóðstigi frá bensínbíl voru framkvæmdar. Í viðauka má sjá veðurgögn.



## 2.1 Bílar og dekk

Til að framkvæmda mælingarnar var í samstarfi við Heklu bílaumboð notast við þrjár ólíkar Volkswagen Golf bifreiðar sem ganga fyrir þremur mismunandi aflgjöfum, sjá mynd 4. Að undanskilinni tegund hreyfils voru bifreiðarnar sambærilegar.



**MYND 4** Volkswagen Golf bifreiðar frá Heklu notaðar við hljóðmælingar, knúnar þremur mismunandi aflgjöfum. Mynd frá vettvangi mælinga.

Bifreiðarnar voru allar á samskonar dekkjum. Dekkin voru að tegundinni Michelin X-Ice 225/45 R17 heilsársdekk. Á mynd 5 má sjá dekkinn sem notuð voru undir bifreiðarnar. Samkvæmt framleiðanda eru dekkinn stöðug og sýna góða stýrissvörun. Í dekkjunum er notast við APS gúmmíblöndu sem hefur verið hönnuð til að laga sig að yfirborði vegflatarsins. Veghljóð frá dekkjunum er gefið 71 dB frá framleiðanda [3].



**MYND 5** Dekkin sem notuð voru undir bifreiðarnar við hljóðmælingar. Mynd frá vettvangi mælinga.

### 2.1.1 Golf Comfortline 1.5 TGI bensínbifreið

Bensínbifreiðin er af gerðinni Golf Comfortline 1.5 TGI. Bifreiðin er sjálfskipt, 7 gíra. Afköst vélarinnar eru 96 kW (130 hö) og hröðun bifreiðarinnar frá 0 til 100 km/klst er 9,6 sek. Eiginþyngd bifreiðarinnar er 1370 kg. Á mynd 6 má sjá bifreiðina við mælingarnar á Krýsuvíkurvegi.



**MYND 6** VW Golf Comfortline 1.5 TGI bensínbifreið notuð við hljóðmælingar. Mynd frá vettvangi mælinga.

### 2.1.2 Golf Trendline 1.6 TDI díselbifreið

Díselbifreiðin er af gerðinni Golf Trendline 1.6 TDI, árgerð 2015. Bifreiðin er beinskipt, 5 gíra. Afköst vélarinnar eru 81 kW (110 hö) og hröðun bifreiðarinnar frá 0 til 100 km/klst er 12,1 sek. Eiginþyngd bifreiðarinnar er 1250 kg. Á mynd 7 má sjá bifreiðina við mælingarnar á Krýsuvíkurvegi.



**MYND 7** VW Golf Trendline 1.6 TDI díselbifreið notuð við hljóðmælingar. Mynd frá vettvangi mælinga.

### 2.1.3 e-Golf rafmagnsbifreið

Rafmagnsbifreiðin er af gerðinni e-Golf, árgerð 2019. Bifreiðin er sjálfskipt. Afköst vélarinnar eru 100 kW (136 hö) og hröðun bifreiðarinnar frá 0 til 100 km/klst er 9,6 sek. Eiginþyngd bifreiðarinnar er 1615 kg. Á mynd 8 má sjá bifreiðina við mælingarnar á Krýsuvíkurvegi.





**MYND 8** VW e-Golf rafmagnsbifreið notuð við hljóðmælingar. Mynd frá vettvangi mælinga.

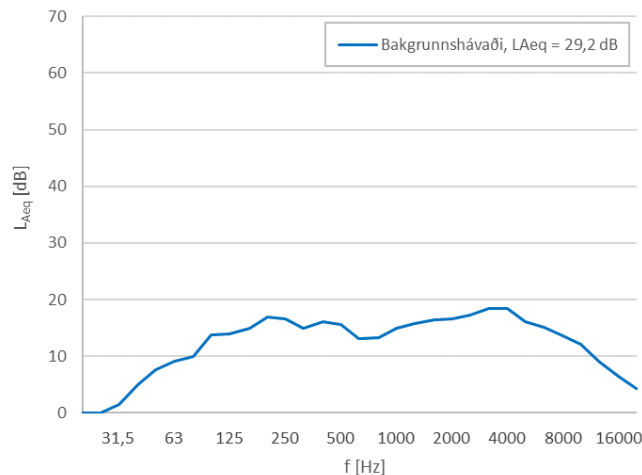
### 3 NIÐURSTÖÐUR

Hér að neðan má sjá niðurstöður hljóðmælinga skv. aðferð *NT ACOU 056 Road Traffic: Measurement of noise immission – survey method* bifreiðanna þriggja, sem ganga fyrir þremur mismunandi aflgjöfum.

Taka skal fram að í mælingunum gaf rafbíllinn ekki frá sér falskt vélarhljóð eins og skylt er skv. nýjum reglugerðum Evrópusambandsins.

#### 3.1 Bakgrunnshávaði

Bakgrunnshávaði mældist  $L_{Aeq} = 29$  dB við mælingarnar á Krýsuvíkurvegi. Í öllum tilvikum, að undanskilinni mælingunni í 30 m fjarlægð við 15 km/klst, er bakgrunnshávaðinn meira en 10 dB lægri en hljóðstig frá bílunum, og telst því viðunandi skv. mælistaðlinum NT ACOU 056. Tíðniróf bakgrunnshávaðans má sjá á mynd 9.

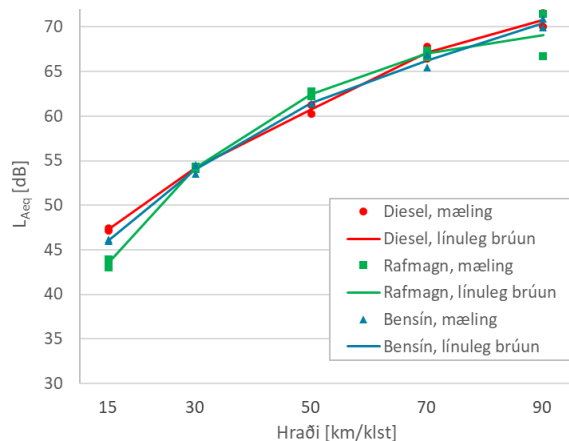


**MYND 9** Mældur bakgrunnshávaði.

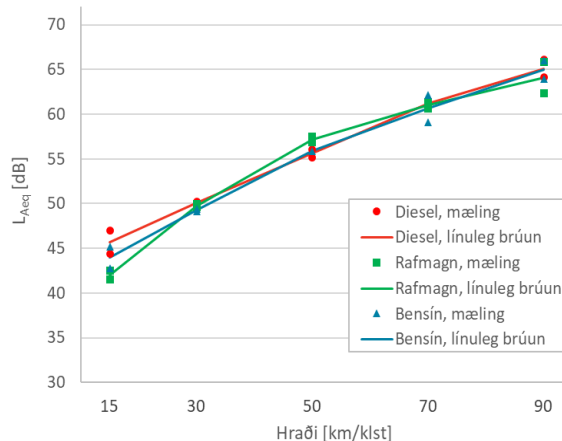
#### 3.2 Hljóðstig og ökuhraði

Á mynd 10 má sjá mælt jafngildishljóðstig sem fall af ökuhraða. Sýndir eru stakir mælipunktar ásamt línulegri brúun í gegnum mælipunktana. Mynd 10 (a) sýnir mælt hljóðstig í 7,5 m fjarlægð frá miðju akreinar, (b) í 15 m fjarlægð og (c) í 30 m fjarlægð. Þegar mælingar á bensín bílunum fóru fram hafði rignt örlítið og ber því að taka þeim niðurstöðum með fyrirvara.

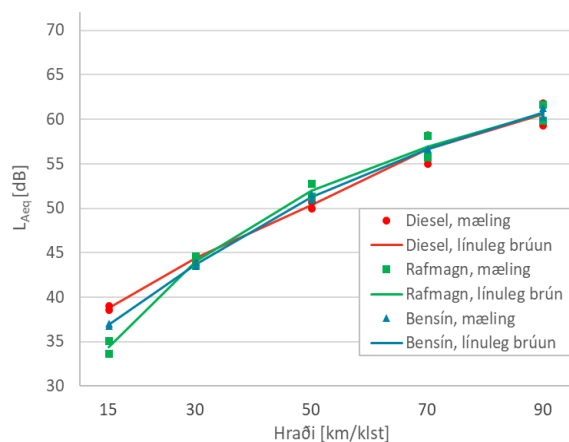
Sjá má að hverfandi munur er á mældu hljóðstigi frá dísil og bensín bílunum, nema við 15 km/klst en þar mælist hljóðstig frá dísil bílunum hærra. Við 15 km/klst mælist hljóðstig frá rafbílnum um 3-4 dB lægra en frá dísil og bensín bílunum þegar horft er til brúunarferlanna. Strax við 30 km/klst mælist hverfandi munur á hljóðstigi frá bílunum þremur. Við 50 km/klst mælist hljóðstig frá rafbílnum 1-2 dB hærra en hljóðstigið frá bensín og dísil bílunum. Við 70 km/klst er hverfandi munur á hljóðstigi frá bílunum þremur. Við 90 km/klst er erfitt að draga ályktun á samanburði rafbílsins við hina bílana tvo þar sem mikil dreifni er á milli mælipunkta. Mældum ferlum í mismunandi fjarlægð svipar mjög til hvers annars.



(a) Fjarlægð: 7,5 m



(b) Fjarlægð: 15 m



(c) Fjarlægð: 30 m

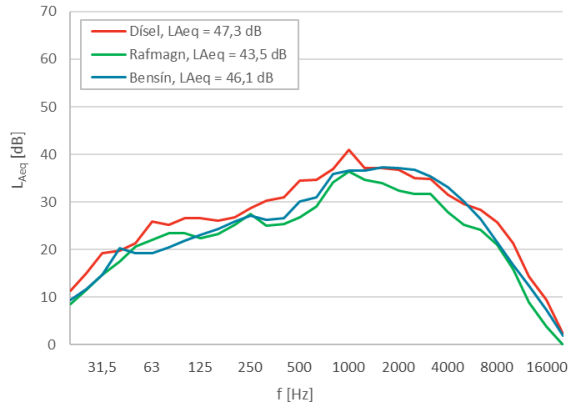
**MYND 10**

Jafngildishljóðstig sem fall af ökuhraða mælt í mismunandi fjarlægð frá miðju akreinar.

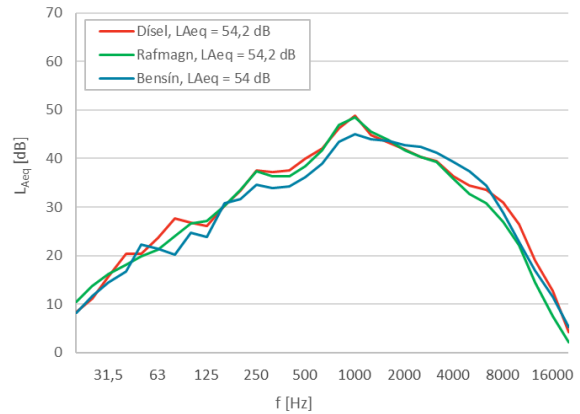
**3.3 Tíðniróf**

Á mynd 11 má sjá tíðniróf hljóðstigsmælinganna. Kynntar eru niðurstöður hljóðstigsmælinga í 7,5 m fjarlægð frá miðju akreinar, en sambærilegar niðurstöður fengust í 15 m og 30 m fjarlægð. Jafnframt er algengt í erlendum rannsóknum að miðað sé við 7,5 m fjarlægð [4] [5]. Tíðnirófin hafa hér verið A-vigtuð þannig að þau endurspegli næmi mannseyrans fyrir slíkum hávaða. Tíðnirófin hafa hefðbundna lögun fyrir tíðniróf veghljóðs, en slík tíðniróf einkennast af áberandi hljóðstigstopp við 700-1300 Hz [6]. Á mældu tíðnirófnum má sjá áberandi topp við 1000 Hz.<sup>1</sup> Við 50 km/klst er umræddur toppur við 1000 Hz sérlega áberandi fyrir rafbílinn, og gefur það til kynna hærra veghljóð við 50 km/klst samanborið við dísel og bensín bílana. Á tíðnirófum dísel og bensín bílana má sjá lágtíðnitoppa, sem til eru komnir vegna vélarhljóðs. Fyrir utan þessa lágtíðnitoppa er lítill munur á tíðnirófum rafbílsins og dísel bílsins. Meiri munur er á tíðnirófi bensín bílsins en þar er hljóðstig hærra við 2000 - 8000 Hz. Þetta skýrist af því að við upphaf mælinganna á bensín bílnum hófst úðarigning sem gerði það að verkum að vegurinn blotnaði lítilllega.

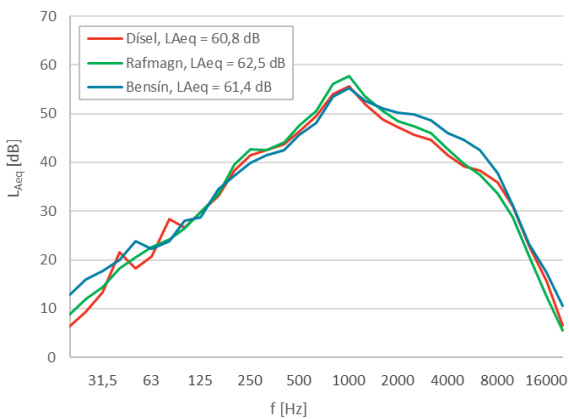
<sup>1</sup> Hljóðtoppa við 1000 Hz má einnig greinilega sjá á óvigtuðum tíðnirófum.



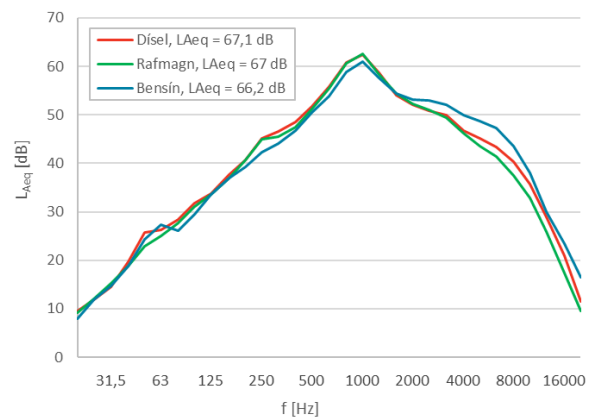
(a) Ökuhraði: 15 km/klst



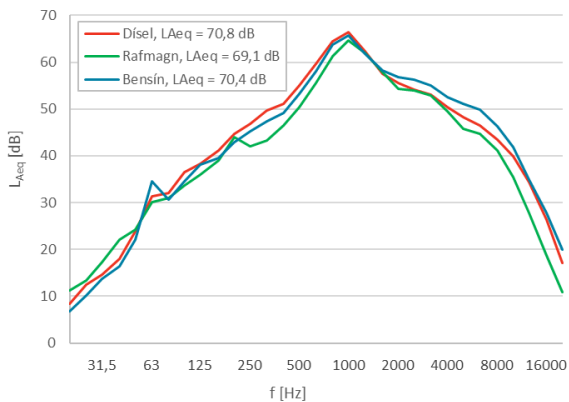
(b) Ökuhraði: 30 km/klst



(c) Ökuhraði: 50 km/klst



(d) Ökuhraði: 70 km/klst

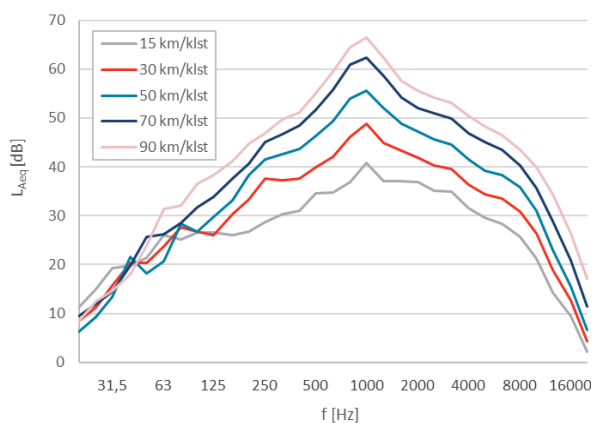


(e) Ökuhraði: 90 km/klst

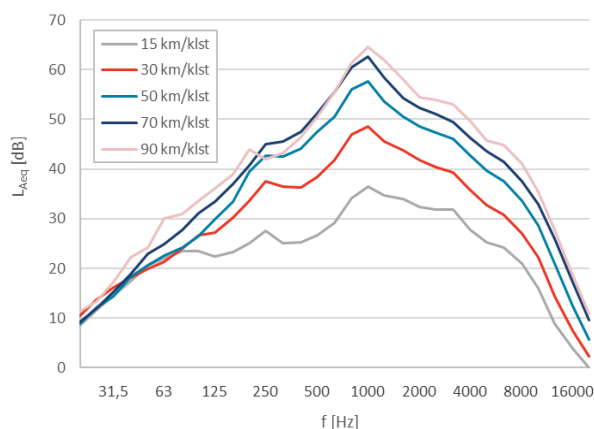
**MYND 11** Samanburður á tíðnirófi hljóðstigs frá bíltegundum. Hljóðstig mælt í 7,5 m fjarlægð frá miðju akreinar.

Á mynd 12 má sjá auðveldlega sjá hvernig tíðniróf hvers ökutækis breytist með auknum ökuhraða. Veghljóð eykst með ökuhraða en það má sjá á því hvernig toppurinn við 1000 Hz ágerist með auknum hraða.

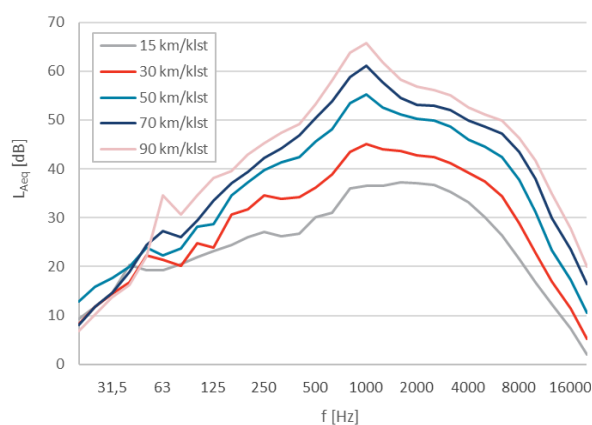




(a) Aflgjafi: dísel



(b) Aflgjafi: rafmagn



(c) Aflgjafi: bensín

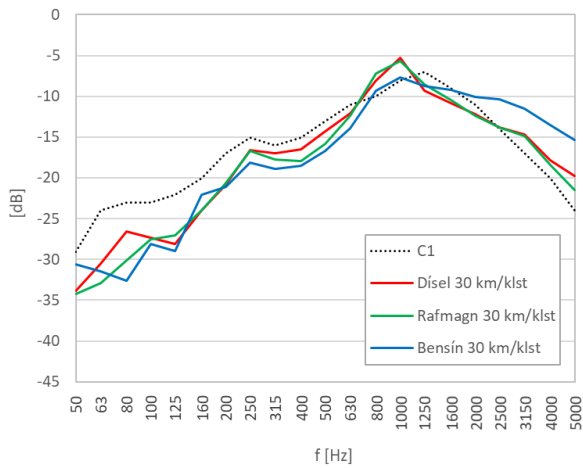
**MYND 12** Breyting á tíðnirófi með ökuhraða. Hljóðstig mælt í 7,5 m fjarlægð frá miðju akreinar.

Á mynd 13 eru mæld tíðniróf borin saman við stöðluð tíðniróf sem talin eru lýsandi fyrir umferðarhávaða. Eftirfarandi tíðniróf eru skoðuð:

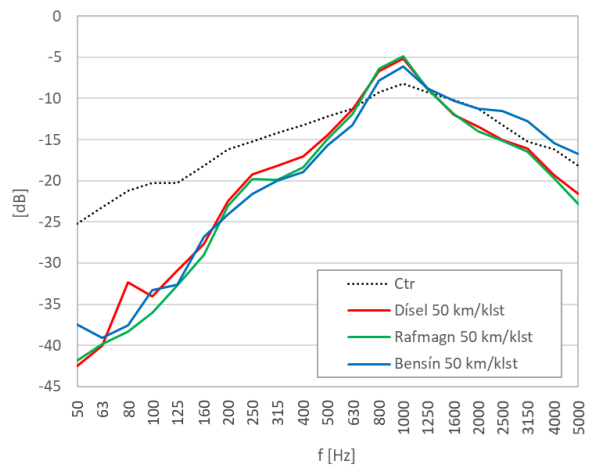
- $C_1$  fyrir umferð innanbæjar á 30 km/klst.
- $C_{tr}$  fyrir umferð innanbæjar á 50 km/klst.
- $C_3$  fyrir umferð utanbæjar á 90 km/klst.

Stöðluðu tíðnirófin eru fengin úr norsku leiðbeiningarriti Byggforsk, *Isolering mot utendørs støy* [7]. Í samanburðinum eru öll tíðnirófin normuð ( $L_{Aeq} = 0$  dB) þannig að bera megji þau saman.

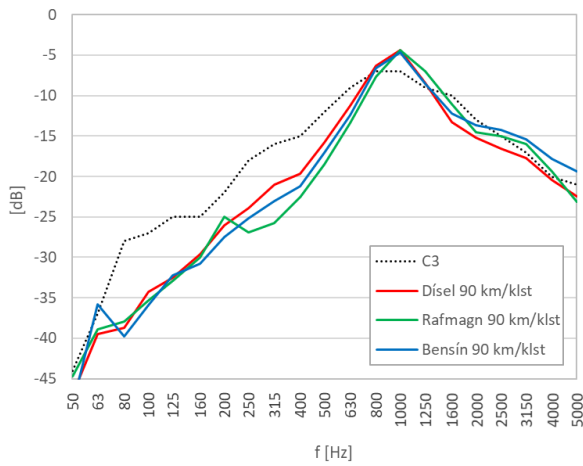
Á mynd 13 má sjá að tíðnirófin ( $C_1$ ,  $C_{tr}$  og  $C_3$ ) samræmast ekki sérlega vel mældu tíðnirófunum. Mikinn mun má sjá á milli mældra tíðnirófa við 50 km/klst og  $C_{tr}$  tíðnirófsins, sem ofmetur mjög lágtíðni innihald umferðarhávaðans.



(a) Ökuhraði: 30 km/klst



(b) Ökuhraði: 50 km/klst



(c) Ökuhraði: 90 km/klst

**MYND 13** Mæld tíðniróf borin saman við stöðluð tíðniróf  $C_1$ ,  $C_r$  og  $C_3$  sem talin eru lýsandi fyrir umferðarhávaða við 30 km/klst, 50 km/klst og 90 km/klst. Öll tíðnirófin hafa verið normuð þ.a.  $L_{Aeq} = 0$  dB.

## 4 UMRÆÐA

Hljóðgjöf frá ökutækjum má í grófum dráttum skipta í hljóðgjöf frá aflugjafa og hljóðgjöf frá dekkjum. Þrátt fyrir að hljóðgjöf frá aflugjafa sé lítil sem engin í rafbílum, þá er dekkjaniður óbreyttur frá öðrum aflugjöfum. Dekkjaniður verður til við snertingu/núnings dekkja og vegs, og er til kominn vegna hljóðmyndunar frá margskonar hljóðeðlisfræðilegum fyrirbærum. Almennt er dekkjaniður talin ráðandi þáttur hljóðgjafar bensín og dísel bíla við háan ökuhraða, en vélarhljóð ráðandi við lágan ökuhraða [4]. Erlendar rannsóknir gefa almennt til kynna að ávinningur rafbíla m.t.t. hljóðgjafar eigi sér aðeins stað þegar ökuhraði er tiltölulega lágur. Rannsóknir hafa sýnt að við hraða á bilinu 25-50 km/klst verður mismunur á hljóðgjöf rafbíla og bíla með brunahreyfli hverfandi [4].

Niðurstöður þessarar rannsóknar eru í góðu samræmi við erlendar rannsóknir. Hljóðstig frá rafbílum mælist lægra við 15 km/klst, en almennt mælist lítill munur á hljóðstigi rafbílsins, bensínbílsins og díselbílsins þegar horft er til jafns umferðarhraða á bilinu 30-90 km/klst. Niðurstöður mælinganna sýna reyndar að mælt hljóðstig frá rafbílum er 1-2 dB hærra við 50 km/klst. Þessar mæliniðurstöður eru nokkuð óvæntar en eiga þó fordæmi í erlendum rannsóknum [5]. Kann þessi smávægilega aukning í hljóðstigi mögulega að útskýrast af auknu veghljóði vegna aukinnar þyngdar rafbílsins, en rafbíl þessarar rannsóknar er u.þ.b. 300 kg þyngri en hinir bílarnir. Í grófum dráttum er þó lítill munur á hljóðgjöf bílanna, bæði m.t.t. heildarhljóðstigs og tíðnirófs, nema við lágan ökuhraða. Nýjar reglugerðir Evrópusambandsins kveða um að rafmagnsbílar skuli útbúnir sérstökum búnaði sem gefur frá sér falskt vélarhljóð þegar keyrt er undir 20 km/klst, til að tryggja öryggi gangandi vegfarenda. Skal það vera sambærilegt vélarhljóði sambærilegra biðreiða með brunahreyfli [8]. Líklegt er því að hljóðstig við lágan ökuhraða komi til með að verða mjög sambærilegt hjá rafbílum og öðrum bílum. Niðurstöður þessarar rannsóknar miðast við jafnan ökuhraða en áhugavert væri að skoða mismun í hljóðstigi út frá hröðun ökutækja.

Þegar niðurstöður mælinganna eru bornar saman við stöðluð tíðniróf sem almennt eru talin lýsandi fyrir umferðarhávaða reynist umtalsverður munur þar á milli. Við útreikninga á hljóðstigi innandyrna frá umferðarhávaða er gjarnan notast við stöðluð tíðniróf. Út frá slíkum útreikningum er nauðsynlegt hljóðeinangrunargildi glerja og hljóðdeyfing loftrása ákvörðuð, og eintölugildið  $R_w + C_{tr}$  notað til að meta getu byggingarluta til að veita hljóðeinangrun gegn umferðarhávaða. Í Noregi er þessi aðferðafræði gjarnan unnin í samræmi við norskt leiðbeiningarrit Byggforsk, *Isolering mot utendørs støy* [7]. Mikill munur reynist á mældum tíðnirófum við 50 km/klst og  $C_{tr}$  tíðnirófinu, en það síðarnefnda ofmetur lágtíðniþátt hávaðans.  $C_{tr}$  tíðnirófið er byggt á meðaltali mælinga í Danmörku og Svíþjóð á áttunda áratuginum og hefur verið talið lýsandi fyrir hávaða frá umferð við 50 km/klst. Miklar breytingar hafa orðið á vélarhljóð bifreiða og hljóðgjöf frá hjólbörðum á undanförunum áratugum. Ljóst er að  $C_{tr}$  tíðnirófið er komið til ára sinna, og ekki nægilega lýsandi fyrir bílafloata nútímans [9]. Þar sem erfitt er að einangra hljóð á lágum tíðnum gefa þessar niðurstöður til kynna að hljóðeinangrunaraðgerðir geti mögulega verið efnisminni og ódýrari en gengur og gerist. Í því samhengi væri skynsamlegt að rannsaka nánar tíðniróf umferðarhávaða á Íslandi, við breytilegar aðstæður og veðurskilyrði.

## 5 SAMANTEKT

Í verkefninu voru framkvæmdar mælingar á hljóðgjöf frá sambærilegum bifreiðum sem hafa mismunandi aflgjafa (bensín, dísel og rafmagn) og skoðaður mismunur á heildarhljóðstigi frá þeim og mismunur á tíðnirófum.

Niðurstöður rannsóknarinnar gefa til kynna hljóðstig frá rafbílum sé aðeins lægra við lágan ökuhraða, en hljóðstig frá rafbílum mældist 3-4 dB lægra við 15 km/klst. Taka skal fram að í mælingunum gaf rafbíllinn ekki frá sér falskt vélarhljóð, eins og skylt er skv. nýjum reglugerðum Evrópusambandsins. Þegar horft er til ökuhraða á bilinu 30-90 km/klst mældist almennt lítill munur á hljóðstigi frá ökutækjunum þremur, bæði m.t.t. heildarhljóðstigs og tíðnirófs. Að vísu mældist þó hljóðstig frá rafbílum 1-2 dB hærra við 50 km/klst og kann sú aukning í hljóðstigi mögulega að útskýrast af auknu veghljóði vegna aukinnar þyngdar rafbílsins, en rafbíllinn í rannsókninni er u.þ.b. 300 kg þyngri en bensín og dísel bílarnir. Ekki er útlit fyrir að hávaðaáraun frá umferð breytist mikið með aukinni innleiðingu rafbíla.

Niðurstöður mælinganna voru bornar saman við stöðluð tíðniróf sem almennt eru talin lýsandi fyrir umferðarhávaða. Við útreikninga á hljóðstigi innandyra frá umferðarhávaða er gjarnan notast við stöðluð tíðniróf til að meta nauðsynlegt hljóðeinangrunargildi mismunandi byggingahluta. Umtalsverður munur reyndist á mældum tíðnirófum við 50 km/klst og  $C_{tr}$  tíðnirófinu, en það síðarnefnda ofmetur mjög lágtíðnibátt hávaðans. Gefa þessar niðurstöður því til kynna að hljóðeinangrunaraðgerðir geti mögulega verið efnisminni og ódýrari en gengur og gerist.

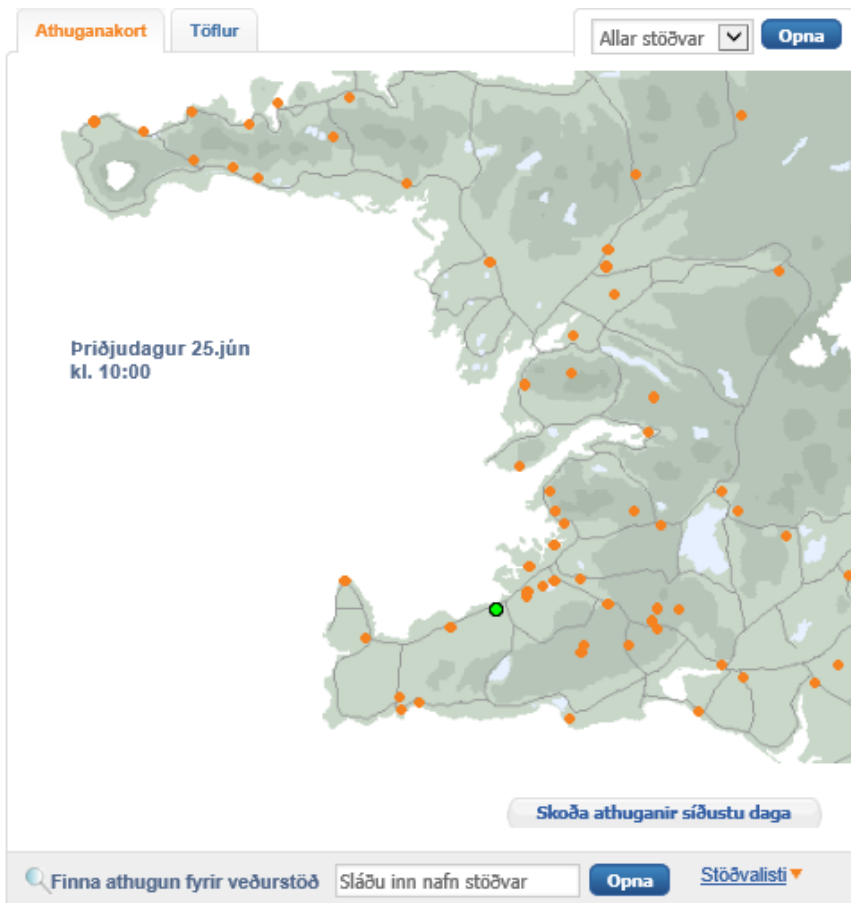
## HEIMILDASKRÁ

- [1] M. c. engineers, „Quiet Road Surfaces,“ Working Group Noise EUROCIITIES, September 2014. [Á neti]. Available: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2014/wp29grb/GRB-60-04e.pdf>. [Skoðað Október 2019].
- [2] Nordtest NT ACOU 056, *Road traffic: Measurement of noise imission - survey method*, Nordtest, 2002.
- [3] N1, „Michelin vertarhjólbardar,“ október 2019. [Á neti]. Available: <https://www.n1.is/vorur/hjolbardar/vetrardekk-folksbila/michelin-vetrarhjolbardar/?itemid=664%20001%20252539>.
- [4] G. Marbjerg, „Noise from electric vehicles,“ Vejdirektoratet, 2014.
- [5] Skov, Rasmus Stahlfest Holck ; Iversen, Lykke Møller, „Noise from electric vehicles - Measurements,“ Vejdirektoratet, 2015.
- [6] U. Sandberg, „The Multi-Coincidence Peak around 1000 Hz in Tyre/Road Noise Spectra,“ Naples, 2003.
- [7] A. Homb og Sigurd Hveem, *Handbok 47 Isolering mot utendørs støy*, Oslo: Byggforsk, 1999.
- [8] B. v. d. Boom, „Silent electric cars: acoustic alerts needed for road safety,“ Government Europa, 6 12 2018. [Á neti]. Available: <https://www.governmenteuropa.eu/silent-electric-cars-noise/91395/>. [Skoðað 28 10 2019].
- [9] M. Mesihovic , J. H. Rindel og I. Milford, „The need for updated traffic noise spectra, used for calculation of,“ í *Internoise 2016*, Hamburg, 2016.

## **VIÐAUKI A VEÐURGÖGN**

Hljóðmælingar fóru fram á Krýsuvíkurvegi við Hellnahraun í Hafnarfirði þriðjudaginn 25. júní 2019 frá kl. 5:30 til 7:00. Meðfylgjandi eru gögn frá Veðurstofu Íslands, veðurathuganir við Straumsvík á þeim tíma sem mælingar fóru fram. Gögn voru fengin af vefsíðu Veðurstofunnar, [www.vedur.is](http://www.vedur.is) þann sama dag.





## Straumsvík - Veðurathuganir

[Spá fyrir stöðina](#) [Upplýsingar um stöðina](#)

12 klst. 6 dagar Línurit - sólarhringur Línurit - vika

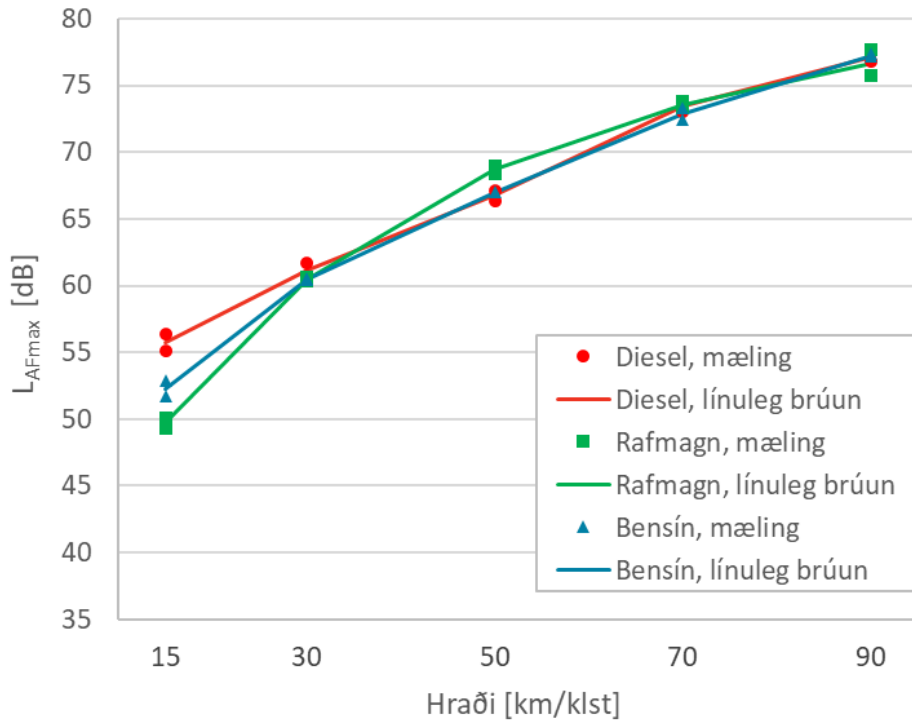
Tími	Vindur	Mesti vindur / hviða	Hiti	Uppsöfnuð úrkoma	Raka- stig
Þri 25.06 kl. 10:00	↗ 7 m/s	7 m/s / 10 m/s	12,2 °C	0 mm / 1 klst	90 %
Þri 25.06 kl. 09:00	↘ 8 m/s	8 m/s / 10 m/s	12,3 °C	0 mm / 1 klst	89 %
Þri 25.06 kl. 08:00	↗ 8 m/s	8 m/s / 10 m/s	12,1 °C	0 mm / 1 klst	92 %
Þri 25.06 kl. 07:00	↘ 5 m/s	5 m/s / 7 m/s	11,4 °C	0,1 mm / 1 klst	97 %
Þri 25.06 kl. 06:00	↗ 4 m/s	4 m/s / 6 m/s	11,1 °C	0 mm / 1 klst	98 %
Þri 25.06 kl. 05:00	↗ 4 m/s	4 m/s / 5 m/s	10,9 °C	0 mm / 1 klst	89 %
Þri 25.06 kl. 04:00	↘ 3 m/s	4 m/s / 4 m/s	9,6 °C	0 mm / 1 klst	93 %
Þri 25.06 kl. 03:00	↑ 3 m/s	3 m/s / 4 m/s	9,8 °C	0 mm / 1 klst	92 %
Þri 25.06 kl. 02:00	↑ 3 m/s	3 m/s / 4 m/s	10,2 °C	0 mm / 1 klst	92 %
Þri 25.06 kl. 01:00	↗ 4 m/s	4 m/s / 5 m/s	10,5 °C	0 mm / 1 klst	90 %
Þri 25.06 kl. 00:00	↗ 2 m/s	3 m/s / 4 m/s	10,7 °C	0 mm / 1 klst	88 %
<b>Mánudagur, 24. jún. - Straumsvík</b>					
Tími	Vindur	Mesti vindur / hviða	Hiti	Uppsöfnuð úrkoma	Raka- stig
Mán 24.06 kl. 23:00	↘ 2 m/s	3 m/s / 3 m/s	11,1 °C	0 mm / 1 klst	87 %
Mán 24.06 kl. 22:00	↘ 3 m/s	3 m/s / 4 m/s	11,2 °C	0 mm / 1 klst	87 %

## **VIÐAUKI B VIÐBÓTARNIÐURSTÖÐUR**

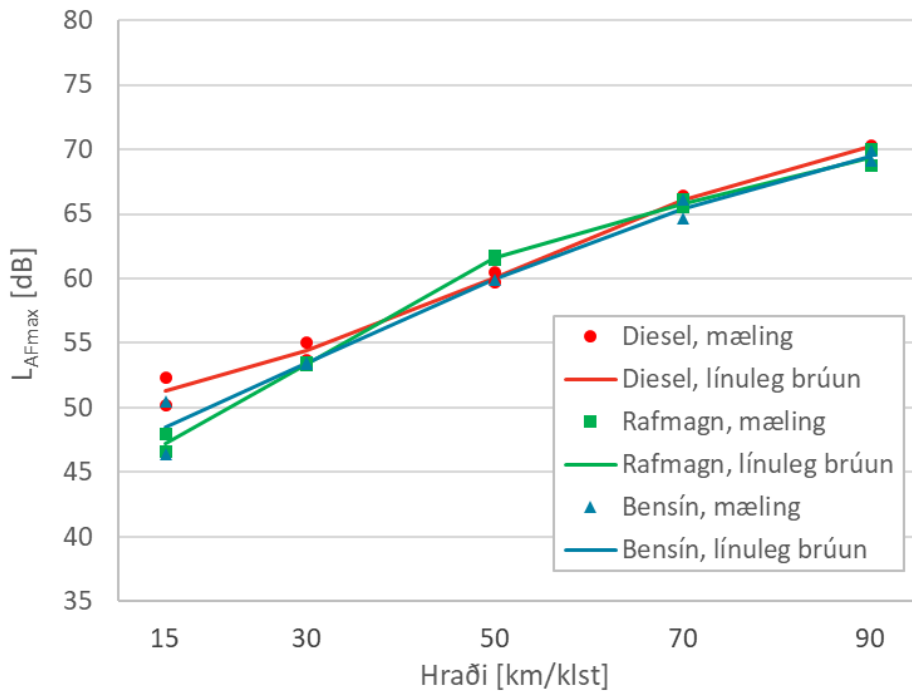
Til viðbótar við niðurstöður í kafla 3 eru settar fram niðurstöður á hámarkshljóðstigi sem falli af ökuhraða ásamt mismun á mældu hljóðstigi mismunandi aflagjafa.

## B.1 Hámarkshljóðstig sem fall af ökuhraða

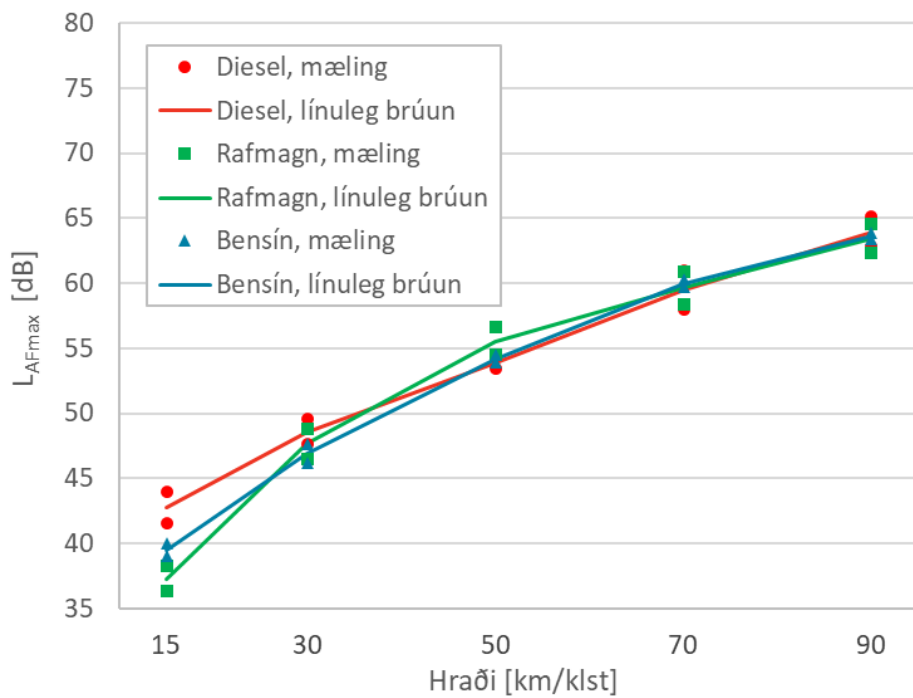
### B.1.1 Fjarlægð 7,5 m frá miðju akreinar



### B.1.2 Fjarlægð 15 m frá miðju akreinar

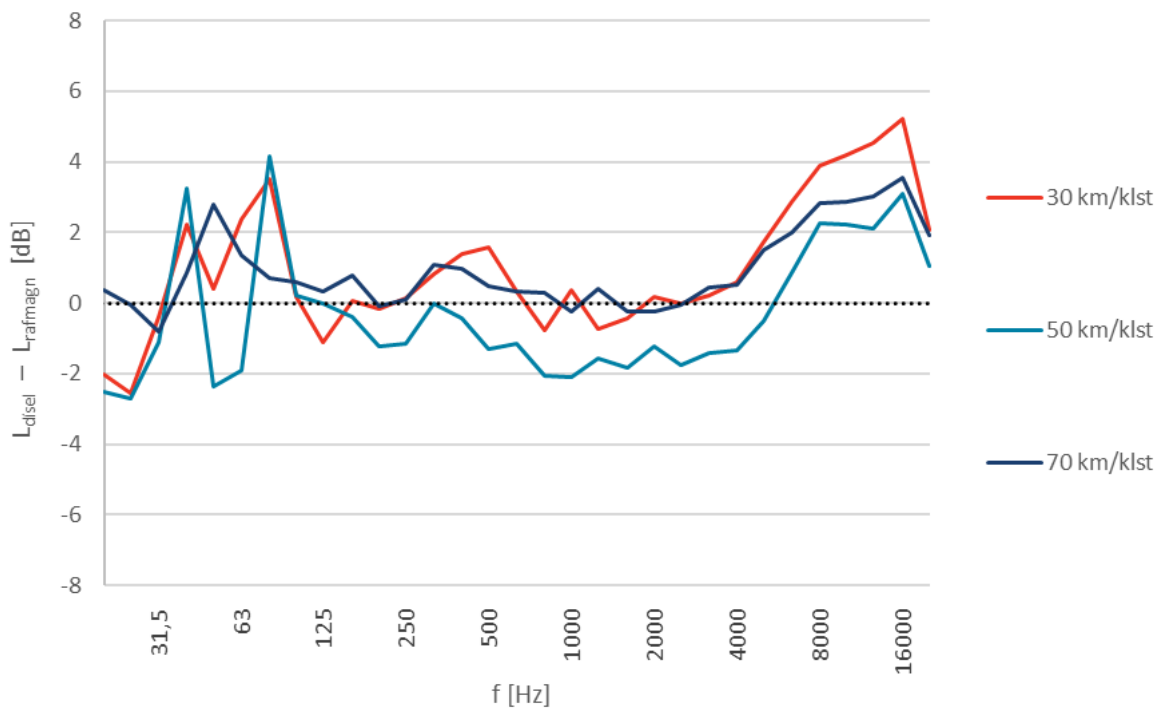


### B.1.3 Fjarlægð 30 m frá miðju akreinar



## B.2 Mismunur á mældu hljóðstigi í 7,5 m fjarlægð

### B.2.1 Mismunur á mældu hljóðstigi frá dísel- og rafmagnsbíl



### B.2.2 Mismunur á mældu hljóðstigi frá bensín- og rafmagnsbíl

