

Kortlagning veghita með áherslu á hálkustaði

Arnór Tumi Jóhannsson, Veðurstofu Íslands

Lykilsíða

Greinargerð nr.: ATJ/2017-01	Dags.: Febrúar 2017	Dreifing: Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/>
		Skilmálar:
Heiti greinargerðar: Kortlagning veghita með áherslu á hálkustaði		Upplag: 6 Fjöldi síðna:
		Framkvæmdastjóri sviðs: Theodór Freyr Hervarsson
Höfundar: Arnór Tumi Jóhannsson		Verkefnisstjóri: Elín Björk Jónasdóttir
		Verknúmer: 3601-0-0018
Gerð greinargerðar/verkstig:		Málsnúmer: 2017-58
Unnið fyrir: Vegagerðina		
Samvinnuaðilar:		
Útdráttur: Mælingar á ýmsum eiginleikum yfirborðs Reykjanesbrautarinnar með mælitækinu RCM frá Teconer voru greindar með tilliti til hálkumyndunar. Mæligögnum var safnað veturna 2014–2015 og 2015–2016. Markmið verkefnisins var að þróa aðferð til að greina og spá fyrir um háлку af meiri nákvæmni en gert hefur verið til þessa, að athuga hvers konar veðurfar ýtir helst undir hálkumyndun á Reykjanesbrautinni og að kortleggja veginn með tilliti til breytileika í veghita. Kortlagðir voru sérstaklega þeir vegkaflar þar sem hiti mældist jafnan sérlega lágur, veghiti mældist miklu lægri en lofthiti, dýpt vatnsfilmu á veginum mældist mikil og viðnám við yfirborð lítið. Við framhald þessarar rannsóknar er lagt til að leitast verði við að innleiða hæðarlíkan af Reykjanesinu í hárrí upplausn í greininguna. Einnig er lagt til að leitað verði leiða til nýtingar gagna um skýjahulu og/eða geislun til þess að kanna áhrif slíkra þátta á hitabúskap vegarins. Tillögu um jafnari og markvissari gagnasöfnun er beint til Vegagerðarinnar		
Lykilorð: Veghiti, háлка, færð, vetrarþjónusta		Undirskrift framkvæmdastjóra sviðs: 
		Undirskrift verkefnisstjóra: 
		Yfirfarið af: HB, SG

Ábyrgðaryfirlýsing höfundar

Höfundur skýrslunnar ber ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar eða álit þeirra stofnana eða fyrirtækja sem höfundur starfar hjá.

Efnisyfirlit

1 Inngangur	8
2 Gögn, fræði og aðferðir	9
3 Úrvinnsla og túlkun gagna	17
4 Niðurstöður og umræða	24
5 Lokaorð	26

Myndaskrá

1	RCM411 áfast bíl Vegagerðarinnar.....	9
2	Tíðnidreifing veghita (T_{SFC}) - Straumsvík.....	12
3	Tíðnidreifing ΔT - Straumsvík.....	12
4	Tíðnidreifing veghita (T_{SFC}) - Strandarheiði.....	12
5	Tíðnidreifing ΔT - Strandarheiði.....	12
6	Tíðnidreifing veghita (T_{SFC}) - Keflavíkurflugvöllur.....	12
7	Tíðnidreifing ΔT - Keflavíkurflugvöllur.....	12
8	Samanburður veghitamælinga - fyrri vetur.....	13
9	Samanburður veghitamælinga - seinni vetur.....	13
10	Fyrri vetur.....	14
11	Seinni vetur.....	14
12	Vegkaflar Reykjanesbrautar ásamt sjálfvirkum veðurstöðvum.....	14
13	Hæð vegkafla Reykjanesbrautar.....	16
14	Frávik vegkafla Reykjanesbrautar frá meðalhæð.....	16
15	Landslag Reykjanesbrautar skv. hæðarlíkani Landmælinga Íslands.....	16
16	Venslatafla fyrir SNID m.v. veðurstöðina SVK.....	17
17	Venslatafla fyrir SNID m.v. veðurstöðina RNB.....	17
18	Venslatafla fyrir SNID m.v. veðurstöðina KEF.....	17
19	Frávik frá meðalgildi T_{SFC} , SNID.....	19
20	Frávik frá meðalgildi T_{SFC} , SAM.....	19
21	Frávik frá meðalgildi lofthita, SNID.....	19
22	Frávik frá meðalgildi lofthita, SAM.....	19
23	ΔT , SNID.....	21
24	ΔT , SAM.....	21
25	Frávik frá ΔT , SNID.....	21
26	Frávik frá ΔT , SAM.....	21
27	Dýpt vatnsfilmu, SNID.....	22
28	Dýpt vatnsfilmu, SAM.....	22
29	Frávik frá meðalgildi vatnsdýptar, SNID.....	22
30	Frávik frá meðalgildi vatnsdýptar, SAM.....	22
31	Frávik frá meðalgildi viðnáms, SNID.....	23
32	Frávik frá meðalgildi viðnáms, SAM.....	23
33	Vegamót Reykjanesbrautar og Grindavíkurvegjar.....	24

Töfluskrá

1	Skýringar á breytunöfnum.....	11
2	Hlutmengi gagna eftir flokkun m.t.t. sjálfvirka veðurstöðva.....	15

Útdráttur

Mælingar á ýmsum eiginleikum yfirborðs Reykjanesbrautar með mælitækinu RCM frá **Teconer** voru greindar með tilliti til hálkumyndunnar. Við slíkar mælingar er mælitækið áfast bíl við akstur eftir vegi og framkvæmir það eina mælingu á hverri sekúndu. Mæligögnum var safnað veturna 2014-2015 og 2015-2016 og fór söfnunin yfirleitt fram samhliða akstri tengdum vetrarþjónustu Vegagerðarinnar. Markmið verkefnisins var að þróa aðferð til að greina og spá fyrir um háлку af meiri nákvæmni en gert hefur verið til þessa, að athuga hvers konar veðurfar ýtir helst undir hálkumyndun á Reykjanesbraut og að kortleggja veginn með tilliti til breytilegs veghita. Ýmsum aðferðum var beitt til þess að kanna hvaða hlutar vegarins væru helst útsettir fyrir ýmsum aðstæðum sem ýta undir háлку, svo sem lágum veghita, miklum raka og litlu viðnámi. Gögn úr þremur sjálfvirkum veðurstöðvum við Reykjanesbraut voru notið til þess að bera saman við yfirborðsmælingar á veginum. Við greininguna voru notuð gögn frá þeim tímabilum þar sem lofthiti var á bilinu 0 til +4 °C, enda er hálkumyndun ólíkleg utan þess hitabils. Fylgni milli ýmissa veðurfarslegra þátta og eiginleika vegarins var könnuð. Vakti þar helst athygli, að ekki fannst marktæk fylgni milli þess munar sem var á loft- og veghita annars vegar og mælds vindstyrks við veginn hins vegar. Reykjanesbraut var skipt upp í um kílómetralanga kafla og hver kaflur greindur með tilliti til þess frávíks sem mælingar sérhverrar breytu á viðkomandi vegkafla höfðu frá meðalgildi mælinga á sömu breytu yfir veginn allan. Þannig tókst að kortleggja þá vegkafla þar sem hiti mældist sérlega lágur, veghiti mældist miklu lægri en lofthiti, dýpt vatnsfilmu á veginum mældist mikil og viðnám við yfirborð lítið. Enn er mikið verk óunnið við kortlagningu vegarins og greiningu á hitabúskap hans. Mælt er með því að rannsókninni verði haldið áfram. Í framhaldinu er mælt með því að leitast verði eftir að innleiða hæðarlíkan af Reykjanesi í hárru upplausn inn í greininguna. Einnig er lagt til að leitað verði leiða til nýtingar gagna um skýjahulu og/eða geislun til þess að kanna áhrif slíkra þátta á hitabúskap vegarins. Tillögu um jafnari og markvissari gagnasöfnun er beint til Vegagerðarinnar.

1 Inngangur

Vegakerfið er meðal helstu samgöngumannvirkja á Íslandi en alls liggja um 13 þúsund kílómetrar af þjóðvegi vítt og breitt um landið [4]. Vegagerðin er veghaldari allra þjóðvega á Íslandi og meðal hlutverka stofnunarinnar er að stuðla að öryggi og greiðfærni á vegum. Svo uppfylla megi þetta hlutverk heldur Vegagerðin úti hálkuvörnum á vegum þegar og þar sem þurfa þykir. Erfitt getur reynst að greina háлку og sér í lagi að spá fyrir um hana. Við slíka greiningu þarf að líta til margra samverkandi þátta, svo sem hitastigs vegar, rakastigs loftsinns, vindhraða og jafnvel undirlags vegarins. Markmið þessa verkefnis eru:

1. Að þróa aðferð til þess að greina og spá fyrir um háлку á vegum í hærri upplausn og af meiri nákvæmni en gert hefur verið til þessa.
2. Að athuga hvers konar veðurfarslegar aðstæður ýta helst undir hálkumyndun til þess að geta greint hana af aukinni nákvæmni.
3. Að nýta mælingar, sem Vegagerðin hefur framkvæmt á ástandi vega með mælitækinu RCM frá finnska fyrirtækinu Teconer, til að kortleggja breytileika á veghita eftir vegi.

Verkefnið miðar að því, að í framhaldi þess megi:

1. Útbúa yfirlit yfir þá staði sem útsettastir eru fyrir hálkumyndun og meta forsendur til þess að nýta veðurlíkanið Harmonie til þess að framleiða veghita- og hálkuspá fyrir lengri leiðir.
2. Skapa grundvöll fyrir gerð veghitaspákorta fyrir heil landsvæði eftir að vegir hafa verið kortlagðir eftir veghita (e.thermal mapping).

Verkefnið var styrkt af Vegagerðinni og var unnið á Veðurstofu Íslands frá maí og fram í september 2016.

2 Gögn, fræði og aðferðir

Við gagnasöfnun var notað mælitækið RCM411, sem framleitt er af finnska fyrirtækinu **Teconer**. Mælingum er þannig háttað að mælitækið er áfast bíl (sjá mynd 1) og safnar margs konar upplýsingum á meðan keyrt er, svo sem um yfirborðshitastig vegar (T_{SFC}), lofthita (T_{air}), dýpt vatnsfilmu á veginum og viðnám dekkja við veg ásamt upplýsingum um staðsetningu (hnit og hæð), ferð og stefnu bílsins. Eftir að tækið er ræst og gagnasöfnun hafin er ein mæling gerð á u.þ.b. einnar sekúndu fresti þar til gagnasöfnun er stöðvuð. Þá vistar tækið gagnasafnið svo greina megi það síðar. Gagnasafn sérhvers leiðangurs er nefnt eftir þeirri tímasetningu er mælingar hófust [2].



Mynd 1. RCM411 áfast bíl Vegagerðarinnar.

Gögnunum sem notuð voru safnaði Vegagerðin veturna 2014-2015 annars vegar og 2015-2016 hins vegar. Mælingarnar fóru að stórum hluta fram samhliða akstri tengdum vetrarþjónustu. Vaktstöð Vegagerðarinnar ræsir út bíla í slíkan eftirlitsakstur þegar fylgjast þarf með færð eða ástandi vega, kanna árangur snjómoksturs eða hafa almennt eftirlit með vegum [3]. Að öðru leyti var engin regla höfð á söfnun gagna. Í þessari fyrstu rannsókn er notast við gögn sem safnað var á Reykjanesbraut (Þjóðvegur 41). Fjöldi mælipunkta í gagnaskrá er mjög misjafn og nær frá nokkrum tugum upp í nokkur þúsund. Ennfremur er fjöldi leiðangra eftir dögum mjög misjafn; suma daga voru farnar margar ferðir, suma daga fáar og aðra daga engar. Framkvæmd og tilhögun mælinga markaðist þannig að miklu leyti af veðri og færð.

Vegagerðin útbjó hnitaskrá sem stíkar Reykjanesbraut með endanlegum fjölda hnitapunkta. Þróuð var aðferð, sem úthlutar eiginleikum sérhvers hnitapunkts vegarins gildum, sem byggja á þeim mælingum sem gerðar hafa verið nálægt þeim punkti. Aðferðin er sem hér segir:

G.r.f. að P sé einn þeirra punkta sem stíkar veginn. Allir mælipunktar sem lenda innan ákveðinnar fjarlægðar frá P eru sagðir vera í grennd við P og hafa framlag til P . Við köllum þessa punkta p_1, p_2, \dots, p_m þar sem m er fjöldi mælipunkta í grennd við P . Setjum nú svo að greina eigi eiginleika vegarins í punktinum P fyrir einn leiðangur. Til þess arna þarf leiðangurinn að hafa ekið um punktinn P og endanlegur fjöldi mælipunkta að vera til staðar í grennd við P . Sérhver mælipunktanna inniheldur einhverjar upplýsingar um ástand vegarins, t.a.m. um veghitann,

T_{SFC} . Gildið sem P er úthlutað er meðaltal þeirra gilda, sem mælipunktarnir í grennd við hann taka. Þannig hlýtur P veghitagildið

$$T_{SFC,P} = \frac{\sum_{i=1}^m T_{SFC,p_i}}{m}$$

Þetta gildi á P má tengja við tímasetningu, sem er meðaltal tímastimpla allra mælipunkta sem hafa framlag til P. Ef leiðangurinn keyrði aðeins einu sinni um P, gefur þessi tímasetning nákvæma mynd af því hvenær veghitinn í P svaraði til þess gildis sem því hefur verið úthlutað. Ef keyrt hefur verið um P oftár en einu sinni fæst gildi, sem svarar til ástands vegarins á fleiri en einum tímapunkti en mun í úrvinnslunni vera tengt einni tímasetningu, sem er meðaltal þeirra tímapunkta, sem keyrt var yfir P.

Ofangreindri aðferð má beita fyrir hvaða breytu (eiginleika vegar) sem er, að því gefnu að gildi hennar hafi verið mælt í þeim punkti sem er til skoðunar. Ennfremur má beita þessari aðferð á marga leiðangra í senn, en þá fæst meðaltal sem byggir á gildum sem hafa mælst á mismunandi tíma sólarhringsins og tímasetningin sem tengd er gildinu verður þeim mun ómarktækari eftir því sem leiðangrarnir eru fleiri. Þess vegna er lagt til að mæliferðum sem fara oftár en einu sinni um einhvern veg eða vegkafla sé skipt upp í smærri leiðangra. Þannig aki sérhver leiðangur aðeins einu sinni um sérhvern punkt.

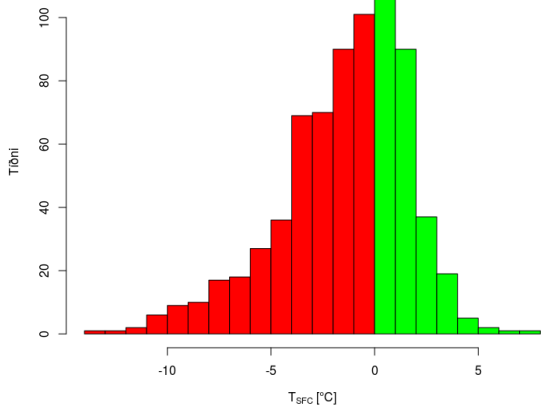
Til þess að tengja mælt ástand vegar við ytri veðurfarslegar aðstæður voru, samhliða mæligögnum vegagerðarinnar, skoðuð gögn úr sjálfvirkum veðurstöðvum. Þrjár slíkar stöðvar er að finna nálægt Reykjanesbraut; ein er í Straumsvík (SVK), önnur á Strandarheiði (RNB) og sú þriðja á Keflavíkurflugvelli (KEF). Þessar stöðvar safna upplýsingum um lofthita (T), daggarmark (TD), gufuþrýsting (VP), rakastig (RH), loftþrýsting (P), vindstyrk (F), vindátt (FD) o.fl. á tíu mínútna fresti. Þær mæla þó hvorki geislun né skýjafar. Veðurstöðvarnar í Straumsvík og á Keflavíkurflugvelli eru reknar af Veðurstofu Íslands en veðurstöðin á Strandarheiði af Vegagerðinni og mælir að auki yfirborðshitastig vegar (T0). Mynd 12 sýnir staðsetningu veðurstöðvanna. Sjá má að stöðin á Keflavíkurflugvelli er nokkurn spöl frá veginum en hinar tvær þétt upp við hann. Tafla 1 skýrir breytunöfnin sem verða notuð hér eftir.

Tafla 1. Skýringar á breytunöfnum.

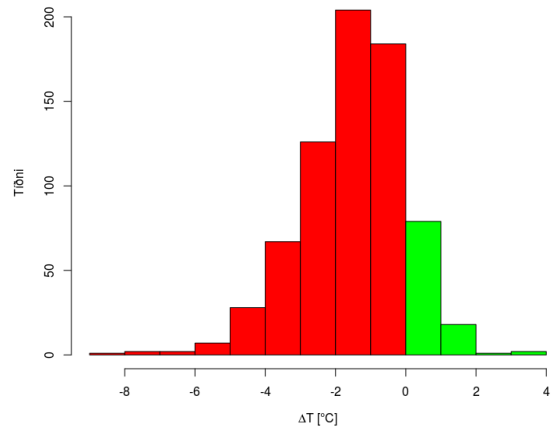
Nafn	Breyta
$T[^\circ C]$	Lofthiti - veðurstöð
$T0[^\circ C]$	Veghiti - veðurstöð
$TD[^\circ C]$	Daggarmark - veðurstöð
$F[m/s]$	Vindhraði - veðurstöð
$FD[^\circ]$	Vindátt - veðurstöð
$RH[\%]$	Loftraki - veðurstöð
$VP[hPa]$	Gufuþrýstingur - veðurstöð
$T_a[^\circ C]$	Lofthiti - RCM
$T_{SFC}[^\circ C]$	Veghiti - RCM
$\Delta T[^\circ C]$	$T_{SFC} - T$
$\Delta T_D[^\circ C]$	$T_{SFC} - TD$
$\Delta T_0[^\circ C]$	$T_{SFC} - T0$

Til þess að bera mælingar á yfirborði vegar saman við gögn sjálfvirku veðurstöðvanna voru fyrst um sinn skoðaðar vegmælingar í þeim punkti á veginum sem næstur er tilsvareandi sjálfvirkri veðurstöð. Við sérhverja vegmælingu sem hefur verið framkvæmd í slíkum punkti er borin saman sú mæling veðurstöðvarinnar sem er næst vegmælingunni í tíma. Með þessari aðferð má bera saman gildi úr báðum mælingunum, og tengja þannig saman ástand vegar og veðurfar við tilsvareandi hluta vegarins. Dæmi um stærð sem fæst með þessari aðferð er munurinn á veghita og lofthita, $T_{SFC} - T \equiv \Delta T$. Í ljós hefur komið að veghiti er lægri en lofthiti í flestum (meira en 80%) tilfellum fyrir allar þrjár veðurstöðvarnar. Því var ákveðið að skoða sérstaklega þau tilfelli, þar sem lofthiti er á bilinu 0 til +4 °C. Undir slíkum kringumstæðum er veghiti oft (í 30 til 60 % tilfella) undir frostmarki.

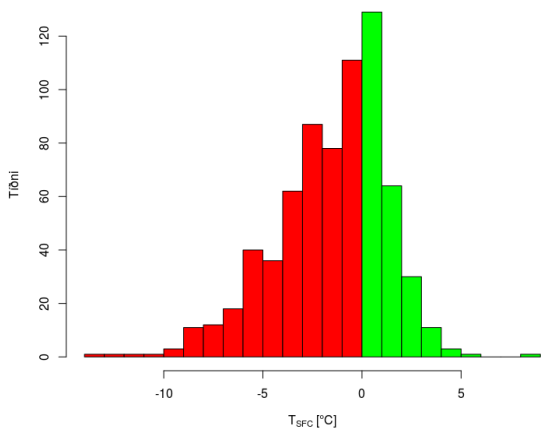
Tíðnidreifingar fyrir T_{SFC} og ΔT fyrir veðurstöðvarnar þrjár má sjá á myndum 2 til 7. Myndirnar eiga við þann punkt á veginum sem næstur er tilsvareandi veðurstöð. Aðferðinni sem hér er lýst má þó beita á hvaða punkt á veginum sem er; hún þarf ekki að einskorðast við þá punkta sem eru næstir sjálfvirkri veðurstöð. Framhald þessa rannsóknarverkefnis gæti m.a. fengist við að beita aðferðinni á marga punkta og tengja sérhvern punkt mælingum nokkurra veðurstöðva svo tengja megi mælingarnar spálíkani í hárrí upplausn, t.d. líkaninu *Harmonie*.



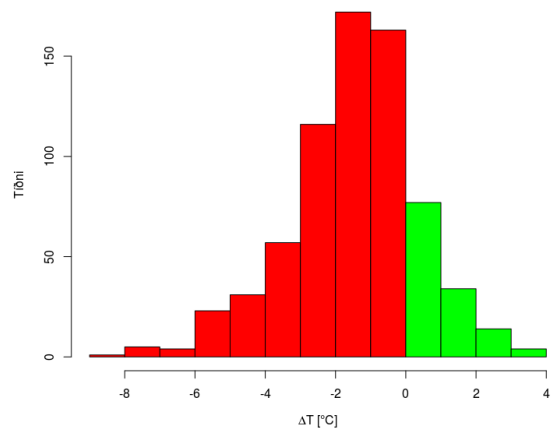
Mynd 2. Tíðnidreifing veghita (T_{SFC}) - Straumsvík.



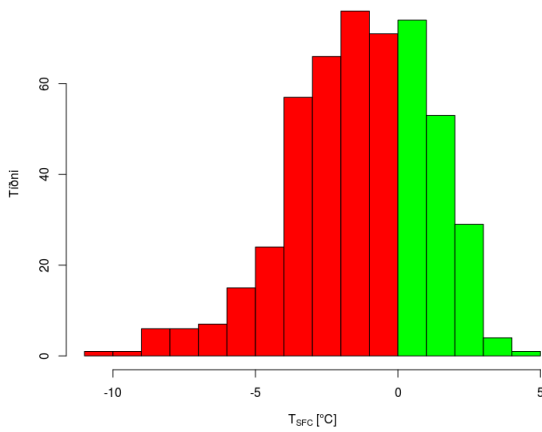
Mynd 3. Tíðnidreifing ΔT - Straumsvík



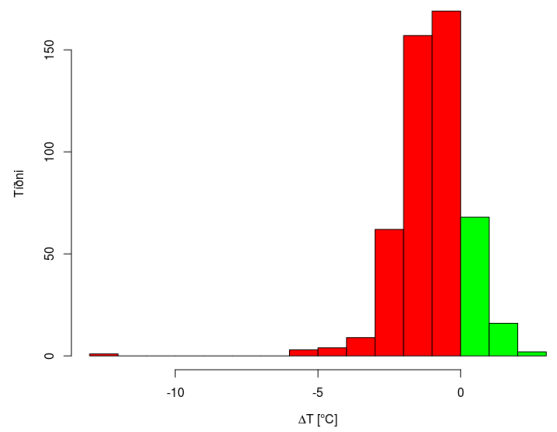
Mynd 4. Tíðnidreifing veghita (T_{SFC}) - Strandarheiði.



Mynd 5. Tíðnidreifing ΔT - Strandarheiði.



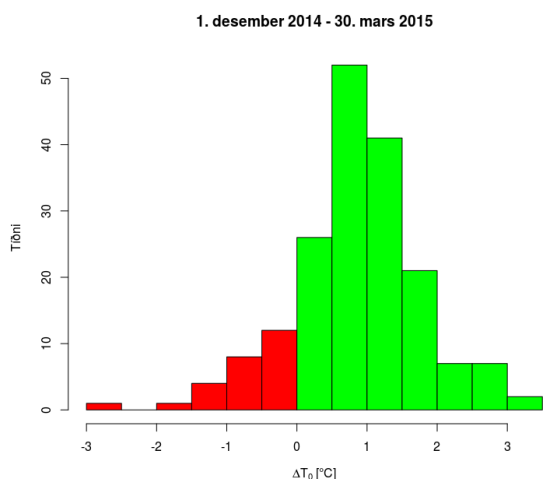
Mynd 6. Tíðnidreifing veghita (T_{SFC}) - Keflavíkflugvöllur.



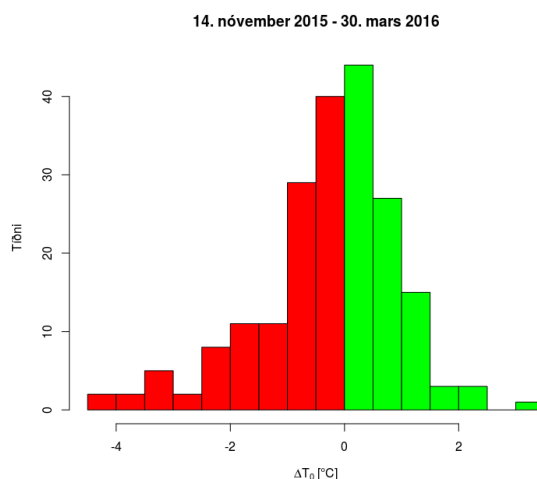
Mynd 7. Tíðnidreifing ΔT - Keflavíkflugvöllur.

Forsenda þess að hálka myndist á yfirborði vegar er, að yfirborð vegarins sé við eða undir frostmarki og að vatn frjósi á veginum. Daggarmark loftmassa er það hitastig sem viðkomandi loftmassi þyrfti að falla niður að, til þess að mettast af raka. Samband hita og daggarmarks gefur vísbendingu um hlutfallslega rakamettun loftsins. Því nær sem hitastig loftsins er daggarmarki þess, þeim mun hærra er hlutfall raka í loftinu. Þegar lofthiti hefur náð daggarmarki er loftið fullmettað af raka en lofthiti getur ekki fallið niður fyrir daggarmark.

Eins og áður segir, er algengt að veghiti mælist lægri en lofthiti. Í sumum tilfellum munar um margar gráður, og undir slíkum kringumstæðum getur hitastig vegar fallið undir daggarmark þess lofts sem á veginum hvílir. Samband veghita og daggarmarks var skoðað við veðurstöðina á Strandarheiði. Sú veðurstöð er rekin af Vegagerðinni og ólíkt hinum tveimur stöðvunum við Reykjanesbraut mælir hún veghita og umferðarpunga. Á þessum stað höfum við þannig tvær óháðar mælingar á hitastigi vegar. Eðlilegt er að bera upp þá spurningu, hvort gott samræmi sé á milli þessara mælinga. Svarið má að nokkru leyti lesa úr myndum 8 og 9. Þær sýna tíðnidreifingu stærðarinnar ΔT_0 , þ.e. mun á T_{SFC} , veghitamælingu með RCM-nema, og T_0 , sjálfvirkri veghitamælingu veðurstöðvarinnar.



Mynd 8. Samanburður veghita-mælinga - fyrri vetur.



Mynd 9. Samanburður veghita-mælinga - seinni vetur.

Veturinn 2014-2015 mældi RCM-neminn hærri veghita en sjálfvirka veðurstöðin í um 86 prósentum tilfella. Veturinn 2015-2016 var þetta hlutfall hins vegar mun jafnara; þá nam það um 46 prósentum. Sami háttur var hafður á mælingum báðra veturna og ekki er ljóst hvað hefur valdið þessu misræmi en sjá má að munur á mæligildum veghitamælanna tveggja getur orðið allnokkur. Athugið að allar mælingarnar sem bornar eru saman hafa verið teknar á sama klukkutímanum og einskorðast við þau tilfelli, þar sem sjálfvirka veðurstöðin mældi lofthita milli 0 og +4 gráða, enda endurspeglar það þær aðstæður sem eru áhugaverðastar í samhengi þessarar rannsóknar.

Myndir 10 og 11 sýna tíðnidreifingu sambands veghita (T_{SFC}) og daggarmarks (TD) á Strandarheiði á töfluformi. Þær eiga einnig við tímabil, þar sem lofthiti hefur mælst á milli 0 og +4 gráða. Hitastig og daggarmark eru gefin í gráðum á Celcius. Sérstaka athygli ber að veita þeim tilfellum, þar sem veghiti er undir frostmarki og lægri en daggarmark. Undir slíkum kringumstæðum hefur raki ríka tilhneigingu til þess að þéttast og frjósa á veginum.

	TD > 0	-3 < TD < 0	TD < -3
T_SFC > 0	80	24	6
-3 < T_SFC < 0	15	26	23
T_SFC < -3	0	3	3

Mynd 10. Fyrri vetur.

	TD > 0	-3 < TD < 0	TD < -3
T_SFC > 0	79	6	1
-3 < T_SFC < 0	42	40	11
T_SFC < -3	4	9	9

Mynd 11. Seinni vetur.

Þekkt er að sumir hlutar Reykjanesbrautar eru útsettari fyrir hálfu en aðrir. Til þess að kanna aðstæður á mismunandi vegköflum, má skipta veginum upp í búta og greina hvern búti sér. Sé hver bútur látinn vera um kílómetri að lengd fást 37 vegbútar í fullri lengd, auk eins styttri búts við vesturenda vegarins sem ekki verður hafður með í greiningunni. Mynd 12 sýnir kaflaskiptingu Reykjanesbrautar. Vegkaflarnir eru númeraðir frá austri til vesturs.



Mynd 12. Vegkaflar Reykjanesbrautar ásamt sjálfvirkum veðurstöðvum.

Þar sem hálkumyndun er háð því að raki sé til staðar á yfirborði vegar, var ákveðið að flokka gögnin enn frekar með tilliti til þess. Út frá mælingum veðurstöðvanna þriggja voru skilgreindar aðstæður þar sem mætti vænta háلكu. Miðað var við að lofhiti mældist milli 0 og +4 gráða, loftraki yfir 90 prósentum og veghiti undir frostmarki á þeirri stöð sem mælir hann (Strandarheiði, RNB). Þegar sjálfvirk veðurstöð uppfyllir þessi skilyrði segjum við að samkvæmt hennar mælingum megi vænta háلكu. Þannig var búin til samantekt tímabila þar sem þessi háلكumyndunarskilyrði voru uppfyllt af hverri stöð fyrir sig. Yfirborðsmælingar sem lentu innan þessara tímabila voru flokkaðar í hlutmengi eftir veðurstöðvunum sem tímabilin voru reiknuð út frá. Þannig urðu til þrjú gagnahlutmengi, eitt fyrir hverja veðurstöð. Hlutmengin voru nefnd eftir viðkomandi veðurstöðvum. Auk þess voru búin til tvö hlutmengi í viðbót: sniðmengi (SNID) og sammengi (SAM) hlutmengjanna þriggja. Tafla 2 sýnir skilyrðin fyrir hlutmengin þrjú sem eiga við veðurstöðvarnar sem og fjölda mælinga í hverju hlutmengi.

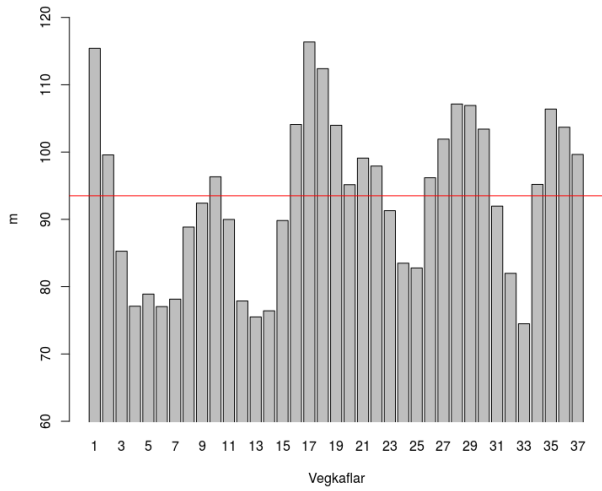
Tafla 2. Hlutmengi gagna eftir flokkun m.t.t. sjálfvirka veðurstöðva

	SVK	RNB	KEF	SNID	SAM
$T [^{\circ}C]$	0-4	0-4	0-4	N/A	N/A
RH [%]	> 90	> 90	> 90	N/A	N/A
$T0 [^{\circ}C]$	N/A	< 0	N/A	N/A	N/A
Fjöldi	477.512	663.030	820.033	151.200	1.218.993

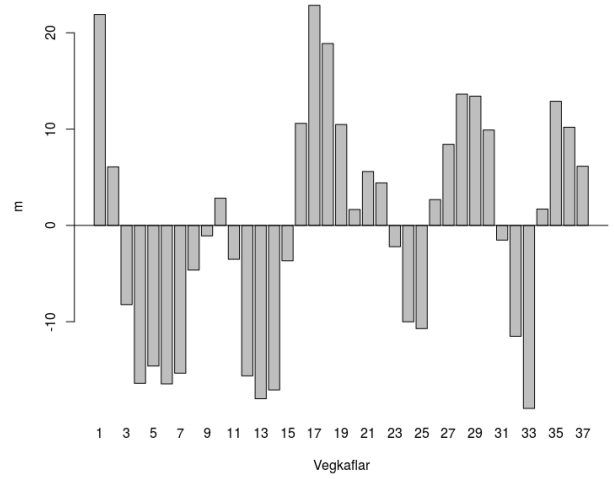
Til þess að greina þá vegkafla sem skera sig úr að að einhverju leyti, voru reiknuð meðalgildi nokkurra breyta fyrir allan veginn og síðan reiknað frávik frá því meðalgildi fyrir hvern vegkafla fyrir sig. Útbúin voru stöplarit, sem sýna frávik ýmissa breyta frá meðalgildi sínu. Myndir 13 og 14 að neðan eru til dæmis um slíka framsetningu. Þær sýna annars vegar hæð sérhvers vegkafla yfir sjávarmáli og hins vegar það frávik sem hver vegkaflanna 38 hefur frá meðalhæð Reykjanesbrautar yfir sjávarmáli. Rauða línan táknar meðalgildið.

Myndir 13 og 14 eru teiknaðar út frá meðalgildum þeirrar hæðar sem GPS-tækið í RCM-nemanum mælir. Nákvæmni þessara hæðarmælinga hefur ekki verið könnuð en grunur leikur á um að hún sé ekki mjög mikil, sérstaklega ekki á milli daga. Þar sem myndirnar að ofan byggja á mælingum margra leiðangra er líklegt að þær gefi nokkuð rétta en þó grófa mynd af hæðarlandslagi vegarins. Til þess að betur mætti glöggvast á hæðum og lægðum á veginum útbjó Vegagerðin hnitaskrá með hæðargildum sem byggja á landlíkani Landmælinga Íslands. Líkanið notar tvílínulega brúun eftir 10 x 10 m punktaneti þar sem nákvæmni hæðargildanna hleypur á einum metra. Upplausnin er því ekki mjög mikil. Mynd 15 sýnir hæðarbreytingar á Reykjanesbraut m.v. líkan Landmælinga Íslands.

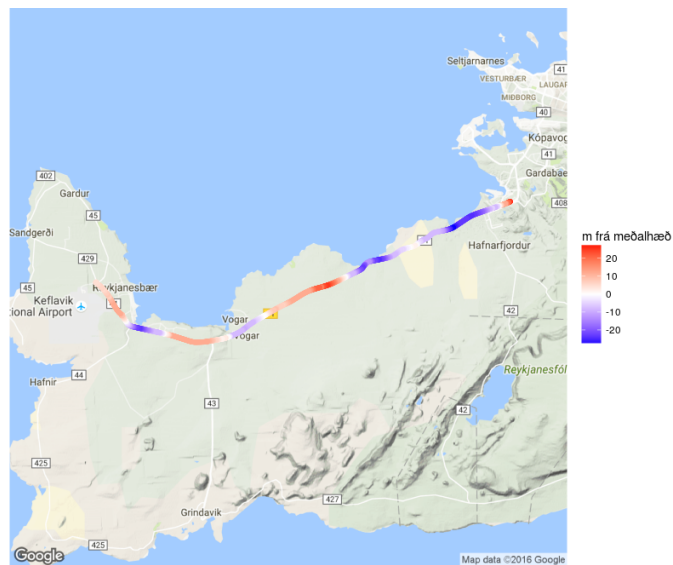
Meðal viðfangsefna áframhaldandi rannsókna væri án efa að tengja gögnin við nákvæmari hæðarlíkan svo meta megi áhrif landslags vegarins á yfirborðshita, lofthita og aðra eiginleika tengdum veginum.



Mynd 13. Hæð vegkafla Reykjanesbrautar.



Mynd 14. Frávik vegkafla Reykjanesbrautar frá meðalhæð.



Mynd 15. Landslag Reykjanesbrautar skv. hæðarlíkani Landmælinga Íslands.

3 Úrvinnsla og túlkun gagna

Við úrvinnslu var fyrst um sinn notaður sá hluti gagnanna sem að ofan er nefndur SNID. Reiknuð var fylgni milli ýmissa breyta og þau sett fram í venslatöflum sem sjá má á myndunum að neðan. Hver venslatafla á við eina sjálfvirka veðurstöð. Athugið að ekki eru birt fylgnigildi minni en 0.20 í töflunum á myndum 16 til 18, enda er slík fylgni næsta ómarktæk.

	Height	Friction	T_SFC	Water	T	ΔT	F	RH	VP	ΔT_D
Height	1									
Friction		1								
T_SFC		0.42	1							
Water				1						
T		0.26	0.71		1					
ΔT		0.27	0.51		-0.24	1				
F	-0.37	-0.39					1			
RH					-0.23	0.24		1		
VP			0.61		0.73			0.5	1	
ΔT_D		0.32	0.45			0.63		-0.6	-0.43	1

Mynd 16. Venslatafla fyrir SNID m.v. veðurstöðina SVK.

	Height	Friction	T_SFC	Water	T	ΔT	F	RH	VP	ΔT_D
Height	1									
Friction		1								
T_SFC		0.42	1							
Water				1						
T		0.43	0.36		1					
ΔT			0.3		-0.78	1				
F	-0.21	-0.34					1			
RH	-0.23							1		
VP		0.39	0.38		0.96	-0.73		0.23	1	
ΔT_D			0.27		-0.76	0.96			-0.79	1

Mynd 17. Venslatafla fyrir SNID m.v. veðurstöðina RNB.

	Height	Friction	T_SFC	Water	T	ΔT	F	RH	VP	ΔT_D
Height	1									
Friction		1								
T_SFC		0.42	1							
Water				1						
T		0.26	0.38		1					
ΔT			0.39		-0.7	1				
F		-0.39	-0.23	0.24			1			
RH					-0.23	0.25		1		
VP		0.23	0.36		0.81	-0.53		0.38	1	
ΔT_D			0.36		-0.53	0.8		-0.38	-0.74	1

Mynd 18. Venslatafla fyrir SNID m.v. veðurstöðina KEF.

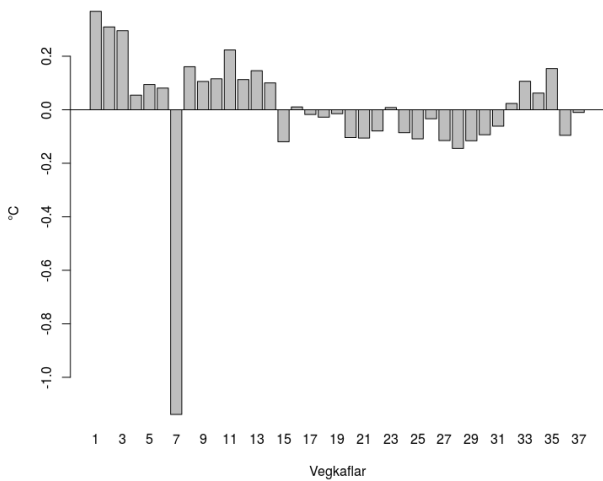
Sé miðað við gagnahlutmenið SAM koma engin áhugaverð vensl fram sem ekki fást með SNID. Breyturnar í töflunni skýra sig að mestu sjálfar. Sem fyrr tákna T_{SFC} veghita, T lofthita, F vindstyrk, RH rakastig og VP gufuþrýsting andrúmsloftsins. Sjálft daggarmark loftsins var ekki haft með í venslatöflunum þar sem fullkomin fylgni er milli daggarmarks og gufuþrýstings. Hins vegar kemur daggarmark óbeint við sögu: afleiddu stærðirnar ΔT og ΔT_D tákna mun á veghita og lofthita annars vegar og mun á veghita og daggarmarki hins vegar. Ekki kemur á óvart að nokkur fylgni er milli þessara tveggja stærða, þar sem hitastig og daggarmark fylgjast mjög að.

Búast má við því, að veghiti falli helst langt niður fyrir lofthita í hægviðri og heiðskýru að næturlagi, þar sem blöndun í neðri lögum andrúmsloftsins er lítil og varmaútgeislun frá yfirborði vegar er mikil. Áhrif útgeislunar voru ekki könnuð þar sem lítið er til af gögnum um hana á því svæði sem er til athugunar. Hins vegar mæla allar sjálfvirku veðurstöðvarnar vindhraða á tíu mínútna fresti. Af öllum mælingum veðurstöðvarinnar á Strandarheiði (RNB) fyrir báða veturna sem til skoðunar eru, mældist vindhraði 4 m/s eða minni í rúmum 35 prósentum tilfella. Af þeim mælingum sem tilheyra SNID er þetta hlutfall tæp 23 prósent. Venslatöflurnar á myndum 16 til 18 leiða í ljós að lítil sem engin fylgni er milli vindhraða og stærðarinnar ΔT . Vera má, að áhrif geislunarbúskapar vegarins og andrúmsloftsins yfir honum vegi mun þyngra en áhrif vindhraða og/eða að áhrif vinds á blöndun séu almennt léttvæg.

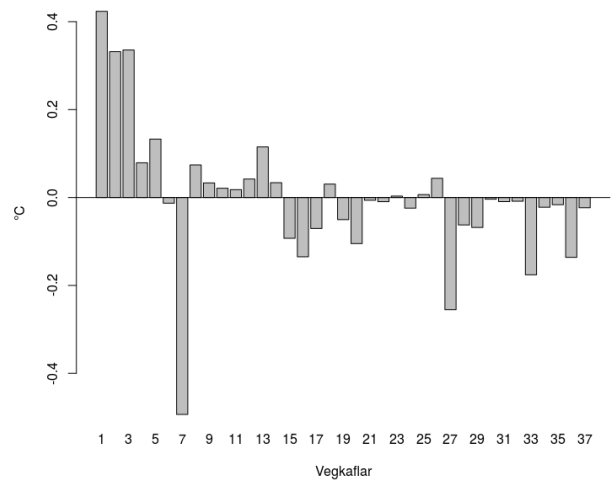
Kalt loft er eðlisþyngra en hlýtt loft og hefur tilhneigingu til þess að setjast fyrir í lægðir og dældir í landslaginu, einkum í hægviðri. Því má ætla, að staðir, sem liggja nærri sjávarmáli séu almennt kaldari en þeir sem hærra eru. Engin fylgni fannst þó milli hæðar og hitastigs lofts eða vegar eða munar á þessum tveimur hitastigum þar sem notast var við hæðargildi GPS-mælis RCM-nemans. Eins og áður segir eru uppi efasemdir um nákvæmni þeirra gilda og því ber að kanna téða fylgni með nákvæmari hæðargögnum.

Til þess að kanna eiginleika einstakra vegkafla voru útbúin stöplarit sem sýna frávik frá meðalgildi, eins og lýst er að ofan og sýnt er á mynd 14. Þær breytur sem voru kannaðar sérstaklega voru veghiti T_{SFC} , lofthiti T_{air} , dýpt vatnsfilmu, munur á veg- og lofthita ΔT og mælt viðnám. Stöplarit voru útbúin fyrir gagnahlutmengin SNID og SAM og borin saman.

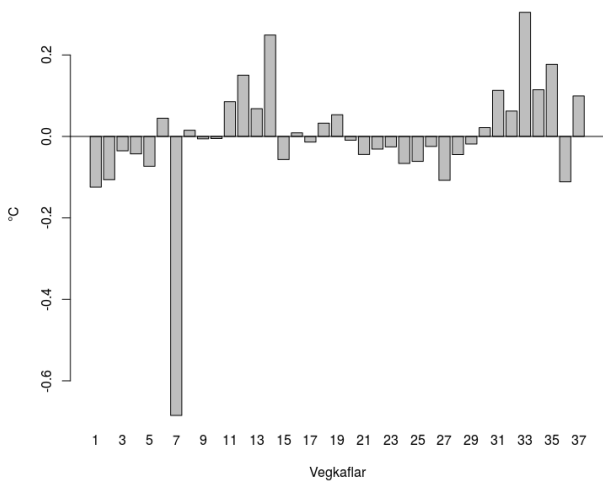
Myndir 19 og 20 sýna frávik mælds veghita frá meðalveghita og myndir 21 og 22 frávik mælds lofthita frá meðallofthita. Einn vegkafli sker sig úr fyrir að vera langkaldastur á báðum myndum. Um er að ræða kaffla númer 7 en eins og sést á mynd 12 er þessi kafli rétt vestan við Straumsvík. Þetta er afgerandi niðurstaða sem vert er að kanna betur. Myndir 20 og 22 sýna neikvætt frávik í veghita á vegkafli númer 27, en hann er við gatnamót Grindavíkurvegjar, ásamt nokkrum minni frávikum. Vert er að kanna, hvort rekja megi þessi frávik að einhverju leyti til undirlags vegjarins eða hvort lofthiti sé almennt lægri á þessum stöðum.



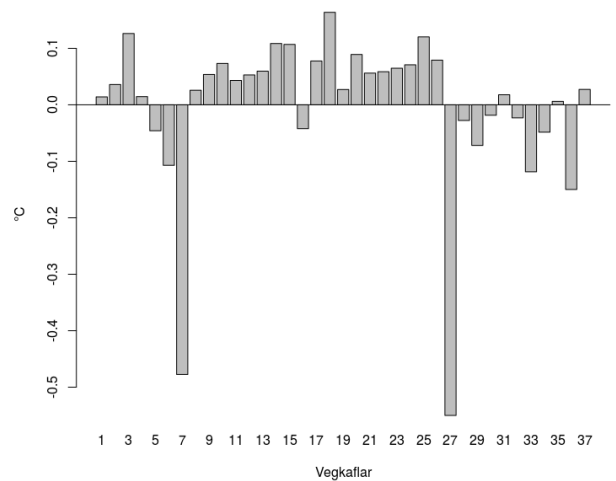
Mynd 19. Frávik frá meðalgildi T_{SFC} , SNID.



Mynd 20. Frávik frá meðalgildi T_{SFC} , SAM.



Mynd 21. Frávik frá meðalgildi lofthita, SNID.



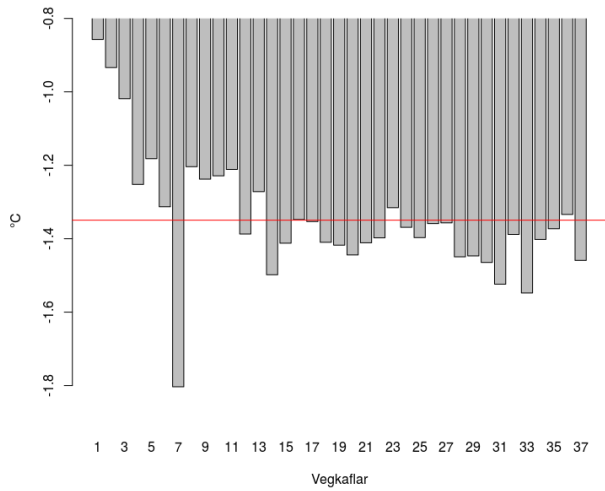
Mynd 22. Frávik frá meðalgildi lofthita, SAM.

Myndirnar að ofan svara þeirri spurningu að nokkru marki. Þó ber að hafa hugfast, að lofthitinn sem hér er sýndur er mældur af hitamæli RMC-nemans en ekki af sjálfvirkum veðurstöðum.

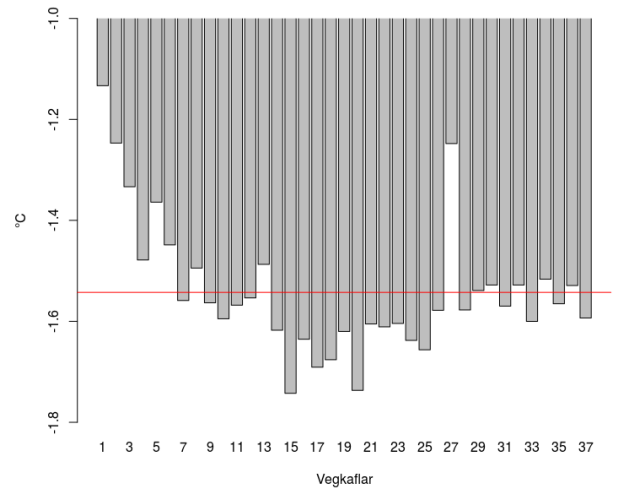
Framleiðandi mælisins varar við því í notendahandbók tækisins, að lofthitamælirinn sé ekki nákvæmur vegna sjálfhitunar og tregðu [2]. Ætla má, að lofthitamælirinn sá arna hneigist til þess að ofmeta hitastigið. Þó er líklegt að mælirinn nemi vel innbyrðis afstöðu þeirra hitastiga sem hann mælir. Þrátt fyrir að sjálft hitastigsgildið kunni að vera rangt má ætla að frávik frá meðal-lofthita gefi nokkuð rétta mynd af því á hvaða stöðum lofthitinn er lægstur.

Frávik frá meðaltali lofthita yfir Reykjanesbraut virðist við fyrstu sýn ráða miklu um frávik frá meðalveghita. A.m.k. virðist þetta eiga við um neikvæð frávik, en að minna leyti um jákvæð frávik. T.d. er veghiti yfir meðaltali austast á Reykjanesbraut þó að lofthitinn þar mælist undir meðaltali. Tvö stærstu veghitafrávikin koma mjög glögglega fram í frávikum á lofthita og því má ætla að lofthiti hafi mikil áhrif á veghita. Athygli vekur, að talsverður munur er á stöplaritunum fyrir gagnahlutmengið SNID og SAM. Neikvæða frávik í veg- og lofthita á vegkafla 27 kemur skýrt fram þegar notast er við SAM, en ekki SNID. Frekari könnun á ástæðum þessa gætu gefið vísbendingar um hver veðurstöðvanna þriggja er best til þess fallin að segja fyrir um hálkumyndun á vegkafla 27, við gatnamót Grindavíkurveggar.

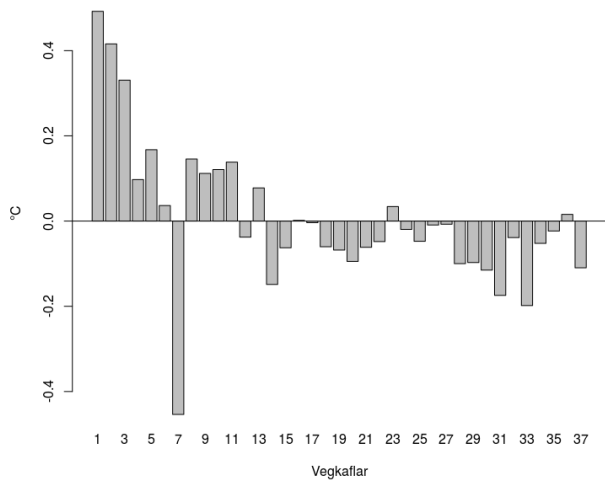
Svo virðist, sem neikvæð frávik á veghita og lofthita haldist að nokkru leyti í hendur. Stór neikvæð frávik á veghita koma fram sem stór neikvæð frávik á lofthita. Þetta á hins vegar ekki um jákvæð frávik, eins og áður segir. Myndir 23 og 24 sýna mun á veghita og lofthita. Rauða línan merkir meðalgildið. Á myndum 25 og 26 má sjá frávik á ΔT frá meðaltali. Athugið, að fyrir bæði gagnahlutmengin mælist veghitinn að jafnaði töluvert lægri en lofthitinn á öllum vegköflum - að meðaltali nemur þessi munur um einni og hálfri gráðu.



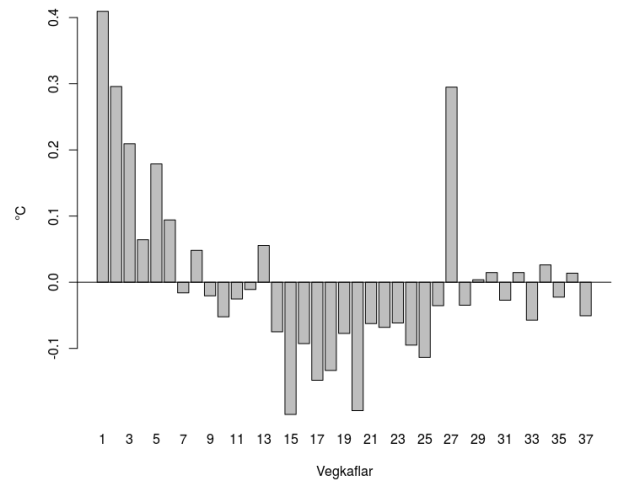
Mynd 23. ΔT , SNID.



Mynd 24. ΔT , SAM.



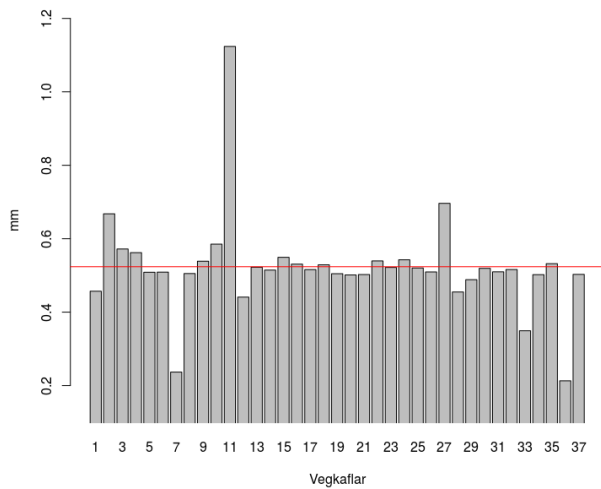
Mynd 25. Frávik frá ΔT , SNID.



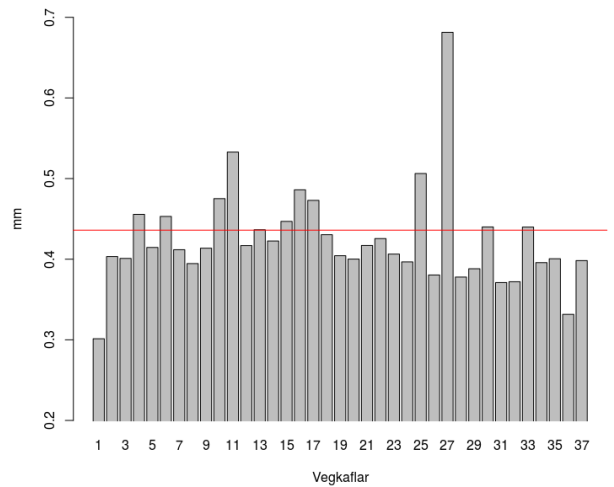
Mynd 26. Frávik frá ΔT , SAM.

Hér ber enn mest á vegbútum 7 og 27. Sjá má, að á kafla 7 mælist veghiti miklu lægri en lofthiti en á kafla 27 er þessu öfugt farið; þar mælist hitastig loftins almennt nær veghitanum. Almennt mælist lofthiti nær veghita austan Straumsvíkur en vestan hennar. Vert er að kanna ástæður þessa.

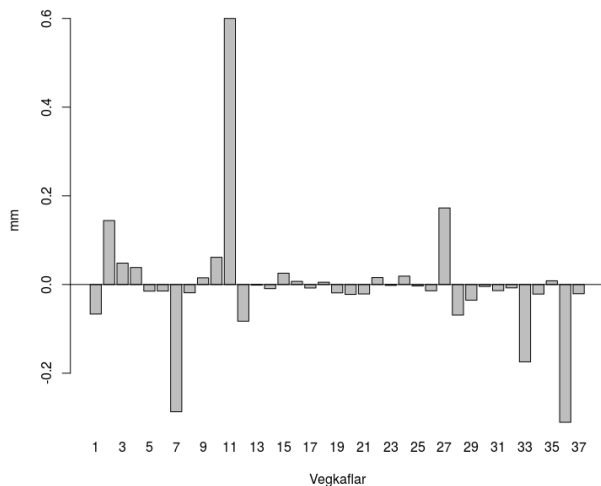
Sérstaða vegkafla númer 7 og 27 staðfestist enn þegar dýpt vatnsfilmu á vegi er könnuð. Eins og sjá má á myndum 27 til 30 skera þeir sig úr ásamt tveimur öðrum vegköflum, númer 11 og 36. Kaflar 7 og 36 eru undir meðallagi blautir en kaflar 11 og 27 langt yfir meðallagi blautir.



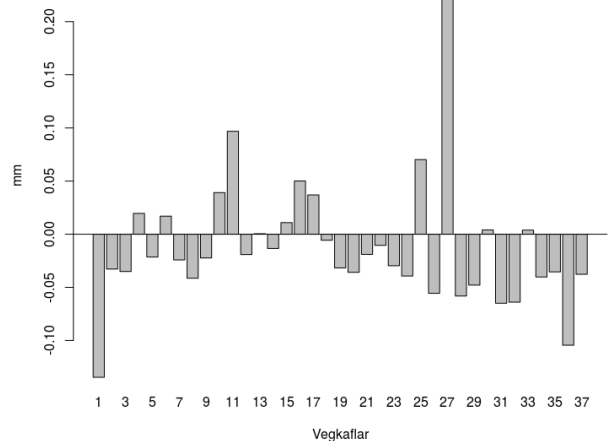
Mynd 27. Dýpt vatnsfilmu, SNID.



Mynd 28. Dýpt vatnsfilmu, SAM.

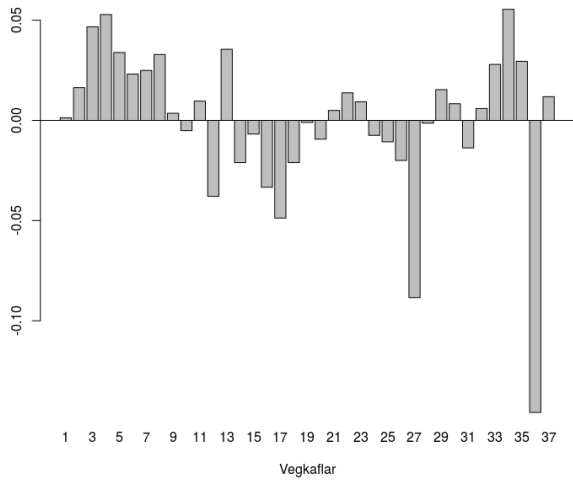


Mynd 29. Frávik frá meðalgildi vatnsdýptar, SNID.

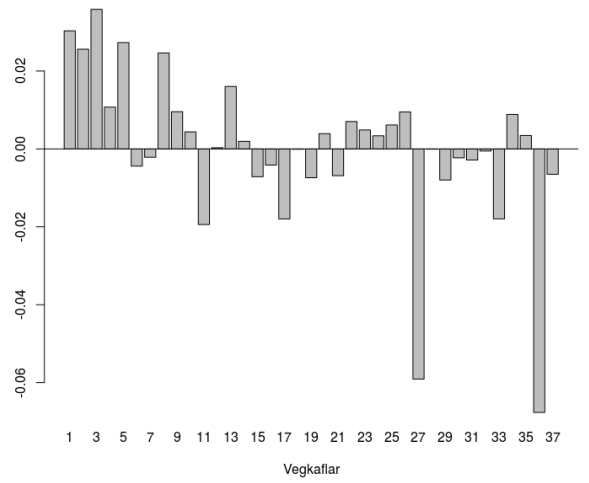


Mynd 30. Frávik frá meðalgildi vatnsdýptar, SAM.

RCM-neminn mælir viðnám dekkja við veg og úthlutar viðnáminu gildi á bilinu 0 til 1 þar sem 0 merkir ekkert viðnám og 1 merkir fullkomið viðnám. Meðalgildi viðnámsins reyndist vera nokkuð mismunandi eftir því hvort gagnahlutmengið var notað. Fyrir SNID nemur það rúmum 0,55 en fyrir SAM rúmum 0,62. Ekki kemur mjög á óvart, að strangasta flokkunin gefi lægsta viðnámið. Frávik frá meðalgildi viðnáms fyrir bæði gagnahlutmengi má sjá á myndum 31 og 32. Viðnámið mælist lægst á köflum 11, 27 og 36 en þeir hafa allir komið við sögu áður. Athugið, að kafli 7, sem reyndist hafa að jafnaði langlægsta yfirborðshita Reykjanesbrautar, mælist ekki sérstaklega háll. Í notendahandbók RCM-nemans kemur fram, að staðalfrávik viðnámsmælingar frá raunviðnámi sé u.þ.b. 0,10 [2].



Mynd 31. Frávik frá meðalgildi viðnáms, SNID.



Mynd 32. Frávik frá meðalgildi viðnáms, SAM.

4 Niðurstöður og umræða

Við greiningu gagnanna hafa komið fram veruleg frávik á eiginleikum yfirborðs vegar á ákveðnum stöðum Reykjanesbrautar. Helst ræðir um vegkafla 7, 11, 27 og 36.

Kafla 7 er rétt vestan Straumsvíkur. Engin vegamót eru á kafla 7 og gera má ráð fyrir að mælingar sem heyra honum til gefi nokkuð góða mynd af ástandi vegarins. Kafla 7 sker sig úr fyrir að mælast mjög kaldur. Séu gögnunum sett sem strangastar skorður (SNID) mælist veghiti kafla 7 meira en 1 gráðu undir meðalhita Reykjanesbrautar og ennþá lengra undir meðalhita næstu 6 kílómetra sitt hvoru megin við hann. Á mynd 15 má sjá, að kafla 7 liggur talsvert lágt, en það á þó einnig við um veginn austan hans, sem er jafnvel örlítið lægri. Til þess að greina þátt landslagsins í þessu frávikum þyrfti nákvæmari hæðarupplýsingar en notast hefur verið við hér. Kafla 7 er fremur þurr og það kann að skýra hvers vegna ekki mælist mikið frávik frá meðaltali í viðnámi við veg. Engar augljósar skýringar eru á því að hitinn mælist jafn lágur og raun ber vitni á þessum kafla. Vert er að kanna hæðarprófil þessa staðar og er lagt til að útbúið verði nákvæmt hæðarlíkan af allri Reykjanesbraut til þess að greina megi áhrif landslags á ástand vegar frekar.

Kaflar 11 og 27 eiga það sameiginlegt að þekja mislæg gatnamót. Reykjanesbraut mætir Vatnsleysustrandarvegi á kafla 11 en Grindavíkurvegi á kafla 27. Mislæg vegamót Reykjanesbrautar og Grindavíkurvegar má sjá á mynd 33 að neðan.



Mynd 33. Vegamót Reykjanesbrautar og Grindavíkurvegar.

Þar sem leiðangrar Vegagerðarinnar á Reykjanesi einskorðuðust ekki við Reykjanesbraut, heldur keyrðu óreglubundið um ýmsa aðra vegi, lenda þeir hlutar annarra leiðangra, sem farið hafa undir Reykjanesbraut eftir öðrum vegum, inni í ferhyrningunum sem skilgreina vegbúta Reykjanesbrautar. Því er líklegt að nokkur skekkja sé í mælingunum á vegamótum, einkum þar sem um mislæg gatnamót er að ræða. Vegir sem liggja undir Reykjanesbraut eru í lægð, þar sem ætla má að vatn hafi tilhneigingu til að safnast saman. Einnig má ætla, að almennt sé skjólsælla í slíkum

lægðum og að varmabúskapur slíkra staða sé allur annar en varmabúskapur hins yfirliggjandi vegar. Auk þess er ljóst, að samanlagður umferðarpungi á vegkafla sem rúmar vegamót er mun meiri en á öðrum köflum vegarins. Þetta skýrir að einhverju leyti þau frávik sem sjást á vegköflum 11 og 27. Báðir kaflarnir, 11 og 27 eru yfir meðallagi blautir. Hitastig lofts og vegar er mjög lágt á vegkafla 27 ef miðað er við gagnahlutmengið SAM. Þetta frávik kemur ekki jafnskýrt fram með hlutmenginu SNID.

Á myndum 19 og 20, sem sýna frávik frá meðalveghita, sést, að hæsti veghitinn á Reykjanesbraut mælist austan Straumsvíkur, jafnvel þó að lofthitinn þar mælist ekki sérstaklega hár. Sá hluti Reykjanesbrautar sem er austan Straumsvíkur tilheyrir Hafnarfirði og þar í grenndinni er nokkuð þétt byggð. Ætla má, án þess að það hafi verið sérstaklega kannað, að umferðarpungi á þessum hluta Reykjanesbrautar sé meiri en annars staðar. Þekkt er, að umferðarpungi hafi áhrif á veghita (Chapman og Thrones, 2005) og ekki útilokað, að munur á umferðarpunga austan og vestan Straumsvíkur kunni að valda þessum mun á veghita [1]. Vert er að kanna það frekar.

Á vegkafla 36 mælist lægsta viðnám á Reykjanesbraut. Þessi kafli liggur beint austur af norðurenda norður-suður flugbrautar Keflavíkurflugvallar og rúmar gatnamót Reykjanesbrautar og Flugvallarvegar, sem eru ekki mislæg. Þó bendir fátt annað til þess að þessi staður sé sérstaklega útsettur fyrir hálfu. Vitanlega virðist hann vera meðal kaldari vegkafla Reykjanesbrautar en athygli vekur, að vatnsdýpt mælist einna lægst á þessum kafla, miðað við bæði hlutmengin SNID og SAM. Vert er að athuga, hversu mikið mark er á viðnámsmælinum takandi við mismunandi aðstæður.

5 Lokaorð

Rannsóknin bendir til þess að breytileiki ýmissa eiginleika vegarins, svo sem veghita, lofthita yfir veginum og tilhneigingu vegarins til þess að safna vatni sé allnokkur og hann ber að kanna betur. Þar sem akbrautir vegarins eru af mismunandi gerð og misgamlar þyrfti að rannsaka þær í sitthvoru lagi m.t.t. hálkumyndunnar. Í framhaldi þessa verkefnis skyldi tekið tillit til þeirra annmarka sem kunna að vera á veghitamælingum við mislæg gatnamót. Einnig skyldu kannaðir möguleikar á því, að nota gögn um skýjahulu og/eða geislunarbúskap vegarins til þess að greina og spá fyrir um hálfu. Gögnin sem þegar hefur verið safnað gefa ágætisvísbendingar um þá staði þar sem helst má búast við hálfu á Reykjanesbraut og frekari greining á þeim gæti vafalaust getið af sér enn frekari vísbendingar þar að lútandi. Þó má vera ljóst, að jafnari og markvissari gagnasöfnun yrði mjög til bóta þegar kemur að úrvinnslu gagnanna. Eftirfarandi tillögum er beint til Vegagerðarinnar, eða þeirra aðila sem annast söfnun gagna:

1. Ekki getur talist ráðlegt að nota akstur tengdan vetrarþjónustu til þess að safna gögnum um ástand vegar til mats á hálkumyndun. Mælt er með því að gögnum sé safnað í almennum akstri sem er næsta óháður færð á vegi.
2. Mælt er með því að gögnum sé safnað jafn og þétt yfir þau tímabil sem eru til skoðunar.
3. Til þess að forðast þau vandamál sem koma upp við greiningu gagna á vegamótum, einkum mislægum vegamótum, er lagt til að leiðangrar til söfnunar gagna einskorðist við einn veg og fari ekki um mislæg gatnamót. Ástand og yfirborð vegar á gatnamótum, einkum mislægum, getur verið mjög misjafnt því ástandi sem er ríkjandi annars staðar á veginum. Auk þess ættu gögnin að gefa skýrt til kynna á hvorum veginum þeim var safnað, ef vafi getur leikið á því.
4. Mælt er með því, að leiðangrar til söfnunar gagna fari ekki oft en einu sinni um sérhvern punkt á þeirri leið sem greina á. Sé sama leið ekin fram og til baka skyldi skipta ferðinni upp í tvo eða fleiri leiðangra.

Þrátt fyrir þá annmarka sem voru á söfnun gagna telst líklegt, að frekari greining á þeim leiði í ljós fleiri og meiri niðurstöður. Athuga ber hversu mikið vægi gagnanna er í þessu samhengi og hversu mjög mætti auka vægi slíkra gagna með því að breyta tilhögun söfnunar á þeim. Meðal næstu skrefa í átt að frekari greiningu gagnanna eru eftirfarandi atriði:

1. Könnun á gæðum þeirra mælinga sem gerðar eru með mælitækinu RCM411. Sér í lagi á þetta við um mælingar á lofthita, viðnámi við veg og hæð yfir sjávarmáli.
2. Að útvega nákvæmt hæðarlíkan af Reykjanesbraut. Slíkt líkan komi í stað hæðarmælinga RCM-nemans til þess að kanna áhrif hæðar og landslags á hitabúskap vegarins.
3. Að leita sérfræðiálits um hvort og hvernig tengja megi mælingarnar við veðurspálíkön og bera saman mælingar og niðurstöður líkans fyrir breytur T og T0 ef við á.
4. Að leita sérfræðiálits um hvort og hvernig tengja megi mælingarnar við gögn um geislun og skýjafar í grennd við veginn og hvort slík greining sé líkleg til að auka vægi gagnanna.

5. Að kannaðar verði ástæður þess, að talsvert misræmi er milli innbyrðis afstöðu veghita mælds af RCM-nema (T_{SFC}) og veghita mælds af veðurstöðinni á Strandarheiði (T_0) á milli ára. Nánar er fjallað um þetta misræmi í kafla 2 (sjá myndir 2 og 3).
6. Könnun á áhrifum umferðar á ástand vega.

Heimildir

- [1] Lee Chapman & John E. Thornes (2005). The influence of traffic on road surface temperatures: implications for thermal mapping studies. *Meteorological Applications*, 12(4), 371-380.
- [2] Teconer Oy (2016). *User's Guide for the Road Condition Monitor RCM411*. Sótt 20. ágúst 2016 af <https://www.dropbox.com/s/vxxoz30z5jgl9rz/RCM411%20User's%20Guide%202016-06.pdf?dl=0>
- [3] Vegagerðin (2012). *Handbók um Vetrarþjónustu*. Sótt 15. júlí 2016 af http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/handbok_vetrarthjonustu/
- [4] Vegagerðin (2015). *Skipting þjóðvega í vegflokka*. Sótt 20. mars 2017 af [http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Vegflokkar_2016/\\$file/Vegflokkar_2016.pdf](http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Vegflokkar_2016/$file/Vegflokkar_2016.pdf)