

Umferðarslys og vindafar Áfangaskýrsla I

Verkefni fjármagnað af RANNUM

Mars 2004





Titill: Umferðarslys og vindafar – Áfangaskýrsla I

Höfundar: Skúli Þórðarson, Dr.ing.
ORION Ráðgjöf ehf
Borgartún 29
IS-105 Reykjavík
Sími: 552 9970
orion@orion.is

Jónas Þór Snæbjörnsson, Dr.ing.
Verkfræðistofnun Háskóla Íslands
Hjarðarhag 2-6
IS-107 Reykjavík
Sími: 525-4128
jonas@hi.is

Útgáfa: Orion Ráðgjöf ehf.
Borgarúni 29
105 Reykjavík

Skýrsla RaUm0301SK01
Reykjavík, mars 2004
42 síður

Verkefni: RaUm0301
Umferðarslys og vindafar

Verkefnisstjóri: Skúli Þórðarson

Fjármögnun: Rannsóknarráð umferðaröryggismála
RANNUM verkefni nr. 118934

Efnisorð: Umferðaröryggi, vindur, hviða, ökutæki,
umferðarslys, færð

Aðgengi: Opin skýrsla. Þessa skýrslu má nálgast á
vefslóðunum www.orion.is eða
www.vegagerdin.is

© 2004 Orion Ráðgjöf, Verkfræðistofnun
Háskóla Íslands. Öll réttindi áskilin.

Formáli

Þetta verkefni er unnið í samstarfi Orion Ráðgjafar og Verkfræðistofnunar Háskóla Íslands með fjárstyrk frá Rannsóknarráði umferðaröryggismála. Kveikjan að því er sú að á hverju ári verða umferðarslys á Íslandi sem rekja má til hvassra vinda. Umtalsverðar framfarir hafa orðið í framsetningu og aðgengi veðurgagna sem og í upplýsingagjöf til vegfarenda. Hins vegar hefur lítið verið fjallað um áhrif vindafars á umferðaröryggi. Verkefninu er ætlað að auka þekkingu á áhrifum vinds á ökutæki og því hvernig samspil vinda, færðar og mismunandi ökutækja tengist slyshættu. Með aukinni þekkingu veghaldara, lögreglu og ökumanna er líklegt að fækka megi þeim umferðarslysum sem að einhverju leyti má rekja til vindaðstæðna.

Reykjavík, mars 2004

Skúli Þórðarson

Jónas Þór Snæbjörnsson

Samantekt

Í skýrslunni er fjallað um fyrsta áfanga verkefnis um umferðarslys og vindafar. Umfjöllun er hvort tveggja almenns eðlis, um samhengi vindafars, færðar á vegum og umferðaröryggis, og um athuganir á umferðarslysum á Hringveginum við Hafnarfjall. Einnig hafa verið tekin saman ýmis atriði sem varða áhrif vinds á ökutæki. Lýst er athugunum á vindafari við Hafnarfjall þar sem notast er við gögn úr veðurstöðvum í grenndinni, staðbundnar mælingar sem framkvæmdar voru af þessu tilefni og vindútreikninga í tölvulíkani. Niðurstöður benda til þess að ekki sé nægjanlegt að fjalla um vindafar eitt og sér, heldur þurfi einnig að taka mið af veggripi (færð) og stöðugleika ökutækja gagnvart vindi. Æskilegt er að aðferðarfræði verkefnisins verði beitt á fleiri athugunarstaði. Þannig má safna frekari upplýsingum um áhrif veðurs og vinda á umferðaröryggi í landinu og jafnframt skapa grundvöll til úrbóta sem líklegar eru til þess að fækka umferðarslysum sem tengjast vindaðstæðum.

Efnisyfirlit

FORMÁLI	3
SAMANTEKT	4
EFNISYFIRLIT	5
1 INNGANGUR	6
1.1 BAKGRUNNUR	6
1.2 MARKMIÐ	6
2 FAGLEGUR GRUNNUR	7
2.1 SLYSARANNSÓKNIR	7
2.2 UM EÐLI OG EIGINLEIKA VINDS.....	7
2.2.1 <i>Hviður</i>	8
2.2.2 <i>Hrýfi</i>	9
2.2.3 <i>Hæðarferill meðalvindhraðans</i>	11
2.2.4 <i>Áhrif landslags og fjalla</i>	12
2.3 UM SAMSPIL VINDS, ÖKUTÆKIS OG VEGAR	13
2.3.1 <i>Loftstreymiskraftar</i>	14
2.4 NÚNINGSKRAFTAR OG VEGGRIP	16
3 FRAMKVÆMD FYRSTA ÁFANGA	19
4 ATHUGANIR VIÐ HAFNARFJALL	19
4.1 STADHETTIR	19
4.2 GÖGN FRÁ VEÐURSTÖÐ VIÐ HAFNARFJALL.....	20
4.3 UMFERÐARSLYS VIÐ HAFNARFJALL 1995-2001	23
4.4 VINDMÆLINGAR Á VEGINUM VIÐ HAFNARFJALL	28
4.5 VINDHERMANIR VIÐ HAFNARFJALL.....	34
5 UMRÆÐA	37
5.1 SKOÐUN NIÐURSTAÐNA.....	37
5.2 TILLÖGUR TIL ÚRBÓTA	38
5.3 NÆSTU SKREF	39
6 ÞAKKIR	40
HEIMILDIR	41

Umferðarslys og vindafar

Áfangaskýrsla I

1 Inngangur

1.1 BAKGRUNNUR

Hluti umferðarslysa utan þéttbýlis á Íslandi verður þegar slæm akstursskilyrði eru vegna veðurfars. Í mörgum þessara slysa eru vindur og hálfka meðverkandi orsakir. Þetta kemur m.a. fram í skýrslu frá Rannsóknarnefnd umferðarslysa [1].

Búast má við að vindur sé meðverkandi orsök í hluta umferðarslysa óháð staðsetningu á vegakerfinu. Hins vegar eru staðbundnar aðstæður á vissum stöðum á vegum landsins þannig, að þar myndast ítrekað varhugaverð umferðarskilyrði vegna vindafars sem leiðir af sér aukna hættu á slysum. Landslag og aðrar aðstæður geta magnað vindhraða þvert á veg og skapað sterkar vindhviður, en hvorttveggja getur verið varasamt fyrir umferð ökutækja. Sérstaklega ef um er að ræða stór, tiltölulega létt, ökutæki með stóra hliðarfleti sem taka á sig mikinn vind. Í þessu sambandi er rétt að hafa í huga síaukna umferð flutningabíla með eftirvagna á þjóðvegum landsins.

Hér á landi eru veðurspár og rauntímamælingar notaðar til þess að gefa út viðvaranir til vegfarenda, en að öðru leyti er ábyrgð vegfarenda við að meta aðstæður mikil. Þess vegna er aukin þekking vegfarenda á hættu á vegum vegna vinda líkleg til þess að draga úr tíðni slysa af þeirra völdum.

1.2 MARKMIÐ

Meginmarkmið verkefnisins er að skapa forsendur til þess að fækka umferðarslysum á Íslandi sem að einhverju leyti má rekja til vindafars. Rannsaka skal umferðarslys þar sem vindur er hugsanleg meðverkandi orsök og tengsl þessara slysa við aðra umhverfispætti. Sérstök áhersla verður lögð á valda athugunarstaði. Gert er ráð fyrir að kynna tillögur að raunhæfum varnaraðgerðum til þess að auka umferðaröryggi.

Til þess að ná fram markmiðum verkefnisins þurfa eftirfarandi atriði að liggja fyrir:

- Greining á vindafari sem einkennir varhugaverðar aðstæður á athugunarstöðunum.
- Greining á staðháttum, þar á meðal legu og gerð vegar.
- Yfirlit yfir slys mismunandi ökutækjagerða á athugunarstöðunum þar sem ætla má að vindur sé meðverkandi orsök.
- Greining á einstökum slysum og tengslum þeirra við umhverfistengda áhrifavalda.
- Mat á kostum og göllum þekktra mótvægisáðgerða.
- Tillögur að mótvægisáðgerðum fyrir athugunarstaðina og almennar tillögur.

Fyrsti athugunarstaðurinn sem tekinn er fyrir er á Þjóðvegi 1 undir Hafnarfjalli við Skarðsheiði sunnan Borgarness, og fjallar þessi skýrsla að mestu leyti um hann. Frá veðurstöð Vegagerðarinnar (Vg) við Hafnarfjall eru til mælingar síðan í árslok 1994 en tölvutækar skráningar í slysagagnabanka Umferðarráðs ná nú til ársloka 2001. Því var ákveðið að skoða umferðarslys og vindafar á 7 ára tímabili, frá 1995 til 2001.

Hluti af verkefninu er samantekt á mótvægisáðgerðum sem notaðar hafa verið erlendis til þess að draga úr áhrifum vinds á vegum og járnbrautum. Farið verður yfir aflfræði ökutækja og samspil vindálags, gerðar ökutækis, veggrips og veghalla. Þá er stefnt að því að flokka algengar gerðir ökutækja í íslenskri umferð eftir stöðugleika þeirra gegn vindhviðum, með það fyrir augum að auka vitund ökumanna, veghaldara og lögreglu á þeim aðstæðum sem varhugaverðar eru fyrir mismunandi ökutækni.

2 Faglegur grunnur

2.1 SLYSARANNSÓKNIR

Tiltölulega lítið hefur verið birt af rannsóknum á umferðarslysum sem tengjast vindafari á Íslandi sérstaklega. Þó má finna rannsóknir sem tengjast viðfangsefninu svo sem skýrslu Á.M. um útafakstur [1] og skýrslu H.S. og S.A.F. um samband veðurfars og umferðaröryggis á Reykjanesbraut [2]. Einnig má nefna grein R.S. og J.Þ.S. um líkindafræðilega greiningu á áhrifum vinds og vegar á slysalíkindi [3]. Slys tengd vindum og veðurfari hafa þó ekki áður verið skoðuð með þeim hætti sem hér er gert.

Fullyrða má að hvergi í Evrópu sé tíðni sterkra storma meiri en á Íslandi. Helst er hægt að finna svipað vindafar á Bretlandseyjum. Þar hafa tengsl veðurfars og umferðarslysa verið rannsökuð allnokkuð og má í því sambandi sérstaklega benda á greinar J. B. Edwards [7,8,9] og greinar A. Perry og L. Symons [10,11]. Áhrif vinds á ökutæki hafa einnig verið rannsökuð talsvert og má í því sambandi nefna rannsóknir C.J. Baker's og samstarfsmanna hans [12-20] í Bretlandi, C. Kramer's og samstarfsmanna í Þýskalandi [21], J. Bettle og félagi í Kanada [22] og Watkins et al. í Ástralíu [23]. Viðbrögð ökumanna við vindáhrifum á ökutæki hafa einnig verið rannsökuð nokkuð, m.a. í Japan [24].

Skipuleg upplýsing vegfaranda á aðstæðum, sem og aukin þekking og skilningur ökumanna á hugsanlegum hættum á vegum vegna vinda og veðurfars er forsenda þess að unnt sé að fækka veðurtengdum slysum. Í einhverjum tilfellum kann einnig að vera nauðsynlegt að beita sérstökum staðbundnum aðgerðum. Dæmi um slíkar aðgerðir sem beitt hefur verið erlendis til þess að draga úr hættu vegna hvassra vinda á vegum eru: Umferðarstýring, þegar vegum er lokað fyrir ákveðna ökutækjaflokka eða fyrir alla umferð við ákveðna vindhraðaþröskulda [25], sérstakir vindskermar [26] og/eða gróðurbelti [27,28] sem hafa verið sett upp við vegi. Auk þess er hugsanlegt, í einhverjum tilfellum, að æskilegt sé að færa veglínu. Aðgerðir af þessu tagi er æskilegt að skoða í tengslum við íslenskar aðstæður og meta þarf þá möguleika sem fyrir hendi eru til að draga úr slysaþættu af völdum veðurs og vinda.

2.2 UM EÐLI OG EIGINLEIKA VINDS

Eitt helsta einkenni vinds er óregla og óstöðugleiki í tíma og rúmi. Ef lítið er á tímabil á bilinu 10 mínútur til klukkutíma, þá má að öllu jöfnu líta svo á, að þrátt fyrir óregluna, sé vindurinn settur saman úr tveimur þörtum, það er *meðalvindi* (mean wind component) og *hviðuparti* (turbulence component). Meðalvindurinn breytist hægt með tíma eins og nafnið gefur til

kynna. Hviðuparturinn lýsir hins vegar örum hraðabreytingum sem í daglegu tali eru nefndar hviður. Með því að nota þennan eiginleika er hægt að tákna vindhraða á einsleitu svæði á eftirfarandi hátt, ef litið er á tímabil af viðeigandi lengd:

$$\mathbf{U}(x, y, z, t) = \begin{Bmatrix} \bar{U}(z) \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} u(x, y, z, t) \\ v(x, y, z, t) \\ w(x, y, z, t) \end{Bmatrix} \quad (1)$$

Hér er miðað við rétthnitakerfi, sem er með x -ásinn í stefnu meðalvindsins og z -ásinn lóðréttan. \mathbf{U} er vindhraða vektor sem er háður stað, (x, y, z) , og tíma, t ; \bar{U} er meðalvindhraðinn og u , v , og w eru x -, y - og z -partar hviðuvindhraðans. Hér er meðalvindhraðinn aðeins fall af hæð, þar sem gert er ráð fyrir að vindurinn sé stöðugur og að hann blási yfir einsleitt yfirborð. Á mynd 1 eru gefin dæmi um niðurstöður vindmælinga, sem staðfesta ofanskráðar hugmyndir um eðli vindsins. Vindmælingarnar voru gerðar með mælitækjum sem sýnd eru á mynd 2.

2.2.1 Hviður

Innan þess tímabils sem notað er til að skilgreina meðalvindhraðann breytist vindhraðinn alla jafna ört, sagt er að vindurinn sé hviðóttur. Einfaldur mælikvarði sem oft er notaður til að meta meðalstærð vindhviðanna er svonefndur *hviðustyrkur* (turbulence intensity). Hann er skilgreindur sem hlutfall staðalfráviks, σ_u , og meðalgildis, \bar{U} , vindhraða:

$$I_u = \frac{\sigma_u}{\bar{U}} \quad (2)$$

Hliðstæðar skilgreiningar eru notaðar fyrir aðra parta hviðuhraðans. Almennt eykst stöðugleiki hviðustyrks með auknum meðalvindhraða.

Annar einfaldur mælikvarði á stærð hviða er svonefndur *hviðustuðull*. Hviðustuðullinn er skilgreindur sem hlutfall 'hágildis', \hat{U} , og meðalgildis vindhraða.

$$G_u = \frac{\hat{U}}{\bar{U}} \quad (3)$$

Báðar þessar stærðir skilgreina vindhviður sem hlutfall meðalvindhraða sem er sú stærð sem oftast er notuð til að lýsa vindhraða í veðurfræði. Venjulega er meðalgildi vindhraðans miðað við 10 mínútur.

Algennt er að hviðustyrkur, I_u , geti verið um 15% og hviðustuðull um 1,5 (sjá t.d. [5]). Ef meðalvindhraði er á bilinu 15 til 20 m/s, þá má búast við að vindhraði í hviðum sé minnstur á bilinu 7 til 10 m/s og mestur 22 til 30 m/s. Tímalengd slíkrar hviðu er á bilinu 2 til 5 sekúndur. Rétt er að undirstrika að hraðabreyting frá lágildum til hágilda getur gerst á nokkrum sekúndum og að nokkur breyting á vindstefnu er alla jafna samfara hraðabreytingum.

Hviðustyrk og hviðustuðul, fyrir stefnu meðalvinds, má tengja saman í gegnum hefðbundna hágildagreiningu. Þar sem hágildi vindhraða í stefnu meðalvindsins er sett fram sem:

$$\hat{U} = \bar{U} + g_p \sigma_u \quad (4)$$

Af því leiðir að skrifa má:

$$G_u = 1 + g_p I_u \quad (5)$$

Hér er g_p svokallaður hágildisstuðull (peak factor). Algeng gildi á g_p eru á bilinu 2,5 til 3,5. Í töflu 1, eru gefin nokkur dæmigerð gildi á hviðustyrk og hviðustuðli. Athuga ber, að almennt er nokkuð mikil dreifing gildunum og því ekki rétt að taka mörkin sem gefin eru of bókstaflega. Auk þess er rétt að geta þess að staðbundnar aðstæður, svo sem fjöll og fjallaskörð, geta haft umtalsverð áhrif til aukningar á þessum gildum.

2.2.2 Hryfi

Vindhviðurnar eru háðar hryfi yfirborðsins sem vindurinn blæs yfir svo og nálægð fjalla. Fylgni milli u , hviðuhraða í stefnu meðalvindhraða, og w , lóðrétts hviðuhraða gefur vís-bendingu um hryfi yfirborðsins sem vindurinn blæs yfir, það er að segja hversu óslétt yfirborðið er. Sem mælikvarði er notaður svonefndur *hrýfisstuðul yfirborðs* (surface roughness coefficient), og er hann venjulega skilgreindur sem víddarlaus Reynoldsspenna (τ_{xz}):

$$\kappa = \frac{\tau_{xz}}{\rho \bar{U}} \quad ; \quad \tau_{xz} = -\rho E[uw] \neq 0 \quad (6)$$

Af þessari skilgreiningu og jöfnu (2) leiðir að:

$$\kappa = -r_{uw} I_u I_w \quad (7)$$

þar sem $r_{uw} = E[uw]/\sigma_u \sigma_w$ er fylgnistuðull u og w .

Almennt gildir að $-1 < r_{uw} < 0$, ef vindhraðinn er all mikill, t.d. $\bar{U} \geq 10$ m/s, og varmaáhrifa gætir ekki. Af þessu leiðir eftirfarandi: Þegar u er pósitíft - það er hefur sömu stefnu og meðalvindurinn - þá er w negatíft - stefnir niður. Enn fremur, þegar u er negatíft, þá er w pósitíft - stefnir upp. Með öðrum orðum, það myndast hvirfill vegna áhrifa yfirborðsins. Þessi hvirfilmyndun veldur því að það dregur úr meðalvindhraða þegar nær dregur yfirborðinu.

Enn fremur gildir að hrýfisstuðull vex eftir því sem yfirborð jarðar verður ójafnara. Hægt er að ákvarða hrýfisstuðul yfirborðs með vindmælingum, ef væntanlega gildið af margfeldinu uw er nálgæð sem tímameðaltal. Erfitt er að ákvarða marktæk gildi fyrir hrýfisstuðulinn þegar meðalvindhraðinn er lítill, hins vegar þegar meðalvindhraðinn vex eykst stöðugleiki mæligilda og hægt er að ákvarða meðalgildi sem er einkennandi fyrir yfirborðið [5]. Rétt er að vekja athygli á því að tölulegt gildi hrýfisstuðulsins er háð þeirri hæð sem mælt er í, sem og lengd þess tímabils sem notað er við meðaltalsútreikningana.

Í töflu 1 eru sýnd dæmi um algeng gildi hrýfisstuðuls fyrir mismunandi yfirborð.

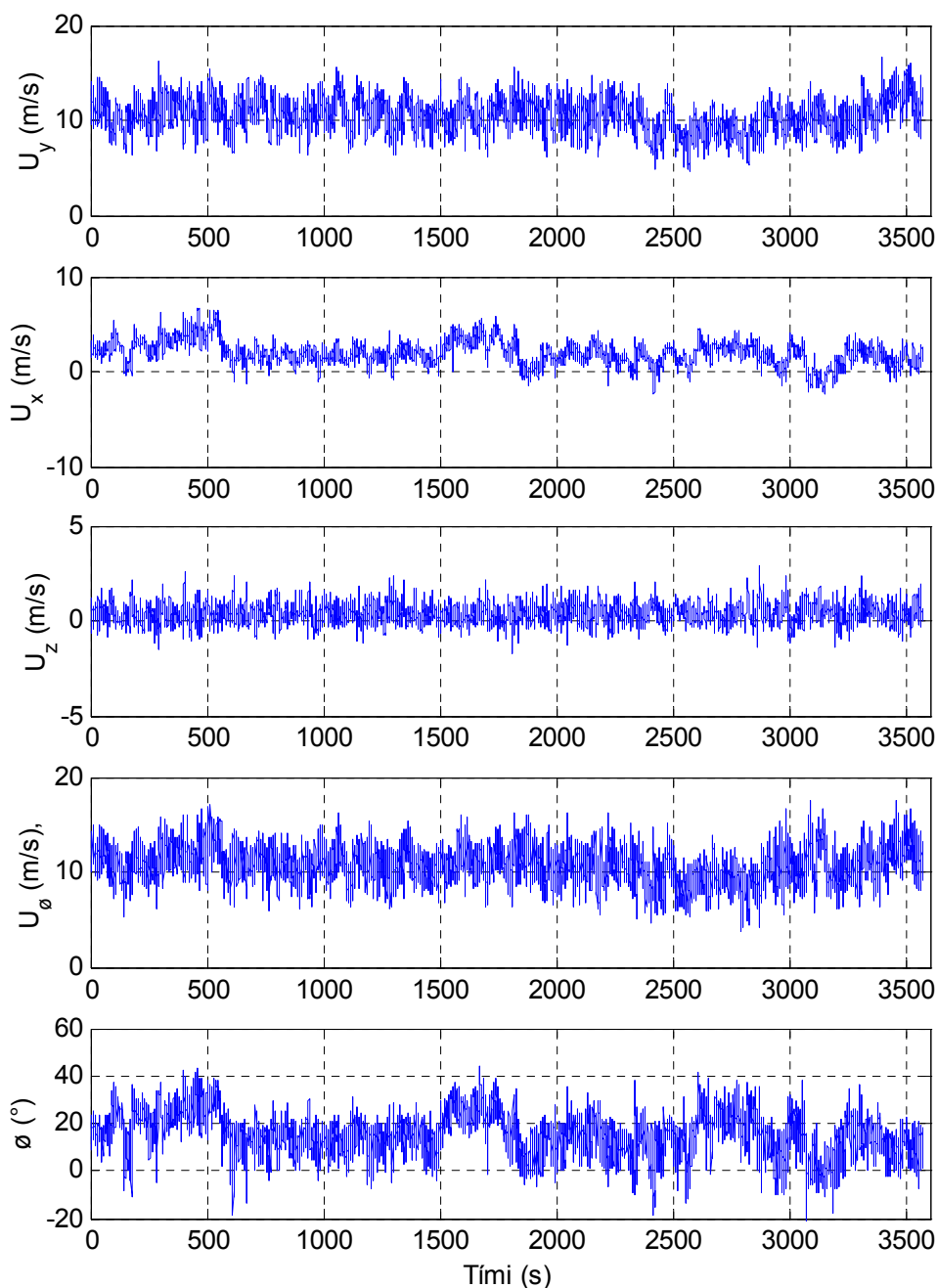
Skúfhræði (shear velocity, frictional velocity) er breyta sem oft er notuð sem kennistærð fyrir iðusteymi. Hann er skilgreindur sem:

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_{xz}}{\rho}} \quad (8)$$

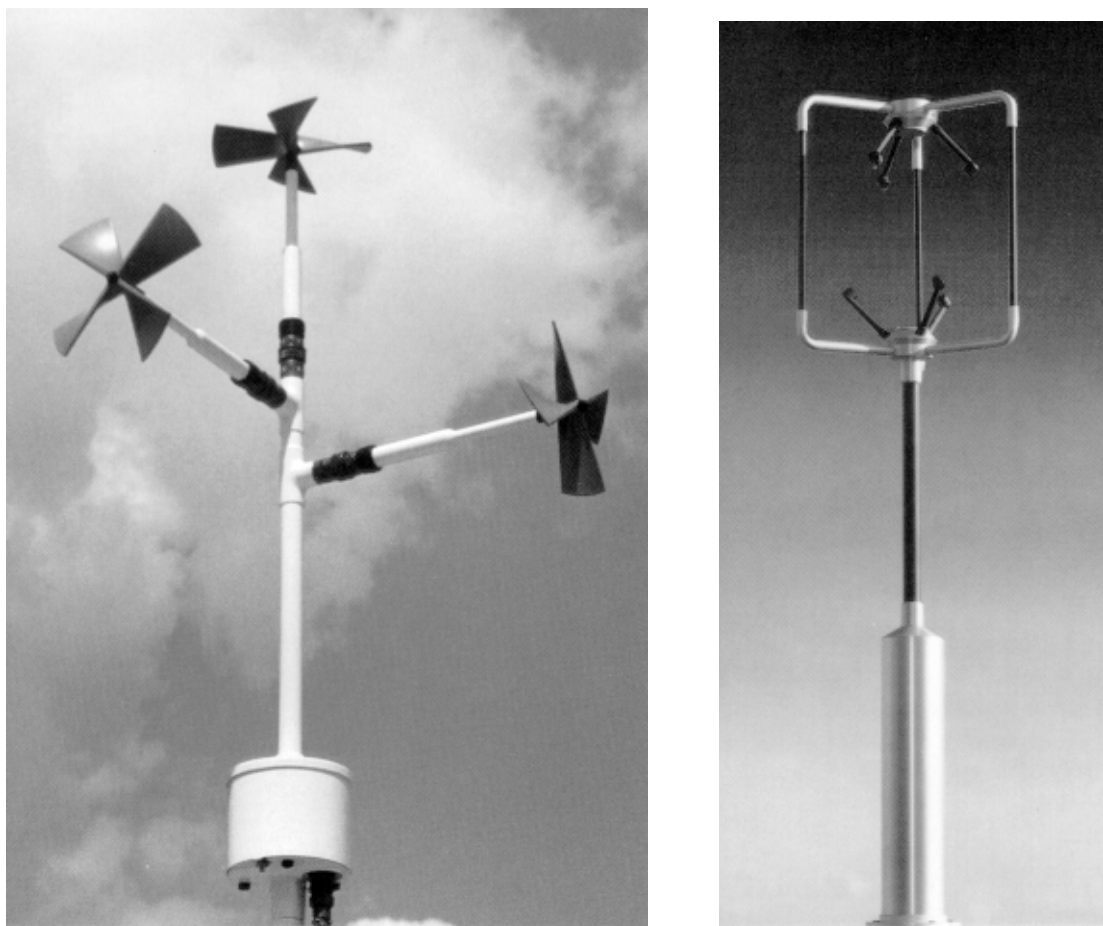
Einnig má skrifa hann sem:

$$u_* = \sqrt{-E[uvw]} = \sqrt{\kappa \bar{U}} \quad (9)$$

Af þessu sést að skúfhraðinn er nátengdur hrýfisstuðli yfirborðsins.



Mynd 1. Dæmi um mældan vindhraða. Þrjú efstu línuritin sýna niðurstöður mælinga með UVW -vindhraðamæli (sjá mynd 2). Notað er fast rétthnitakerfi þannig að x -ásinn er ekki endilega í stefnu meðalvindsins. Tvö neðstu línuritin sýna niðurstöður mælinga með úthljóðsvindhraðamæli (ultrasonic anemometer) (sjá mynd 2) og er U_ϕ stærð lárétts vindhraðavektors en ϕ er lárétt vindstefna [4].



Mynd 2. Vindhraðamælir: (a) uvw -hraðamælir, sem notar fast réttthitakerfi, (b) úthljóðsvindhraðamælir (ultrasonic anemometer) til rannsóknna, sem mælir vindvektor í láréttu plani og lóðréttan vindhraða, w . [4]

2.2.3 Hæðarferill meðalvindhraðans

Eins og fram hefur komið minnkar meðalvindhraðinn, \bar{U} , vegna núningisáhrifa þegar nær dregur yfirborði jarðar. Einfaldað líkan sem oft er notað til að lýsa þessum áhrifum iðustreymisins er svonefnt *K-líkan* (K-theory). Þá er skúfþennan rituð sem:

$$\tau_{xz} = \rho K \frac{\partial \bar{U}}{\partial z} \quad (10)$$

Hér táknar K svonefnda *iðuseigju* (kinematic eddy viscosity), en stærð hennar er háð eiginleikum vindstreymisins, það er stærð hviðanna og hraða þeirra, eins og þeim er lýst með Reynoldsspennum. Nánar tiltekið, þá er venjulega gert ráð fyrir því að stærð iðanna sé í réttu hlutfalli við hæð yfir yfirborði og að hraðinn sé í réttu hlutfalli við skúfhraðann. Af þessari forsendu leiðir:

$$K = k_a z u_* = k_a z \sqrt{\kappa \bar{U}} \quad (11)$$

Hér er k_a svonefndur *von Karman stuðull*, mælingar sýna að þessi stuðull er um það bil 0,4.

Af jöfnum (8), (9) (10) og (11) fæst eftirfarandi diffurjafna, sem lýsir breytingu meðalvindhraðans með hæð.

$$d\bar{U} = \frac{\sqrt{\kappa}}{k_a} \bar{U}_R \frac{dz}{z} \quad (12)$$

Hér táknar \bar{U}_R meðalvindhraða í viðmiðunarhæð. Heildun þessarar jöfnu gefur hinn svonefnda *log-hæðarferil meðalvindhraða* (logarithmic mean windprofile):

$$\frac{\bar{U}(z)}{\bar{U}_R} = \frac{\sqrt{\kappa}}{k_a} \ln(z/z_o) \quad z \geq z_o \quad (13)$$

Hér er z_o heildunarfasti sem hefur víddina lengd. Þessi stærð er nefnd *hrýfis lengd* (roughness length) og er annar mælikvarði á hrýfi yfirborðsins. Með aðstoð þessarar jöfnu er auðvelt að tengja hrýfis lengd við hrýfisstuðul. Niðurstaðan er:

$$z_o = z_R \exp\left(-k_a/\sqrt{\kappa}\right) \quad (14)$$

Í töflu 1 eru gefin dæmi um hrýfis lengd fyrir mismunandi yfirborð og eru gildin ákvörðuð með jöfnunni hér fyrir ofan.

2.2.4 Áhrif landslags og fjalla

Eins og fram hefur komið hefur hrýfi yfirborðsins margvísleg áhrif á vindinn næst yfirborði jarðar. Á það bæði við um eiginleika hviða sem og meðalvindhraða. Fjallendi hefur enn fjölbreyttari áhrif, þar sem fjöllin eru ekki eingöngu yfirborð heldur einnig fyrirstaða sem lofstreymið þarf að fara framhjá. Vindurinn lyftir sér yfir fjöllin, sveigir framhjá þeim og hlémegin kemur lofstreymið aftur niður. Þegar vindurinn sveigir framhjá og yfir fjall, þá eykst lóðréttur og láréttur þrýstingur og hraði lofstreymisins eykst næst fjallinu, jafnframt brotnar lofstreymið á fjallsbrúnum en þá myndast hvirflar og sveipir sem valda breytilegum staðbundnum áhrifum sem háð eru lögun fjallsins.

Þetta samspil fjalla og vinds hefur víða afgerandi áhrif á vindafar á Íslandi. Sem dæmi má nefna að í fjörðum liggur vindurinn almennt annað hvort inn eða út fjörðinn [6], þó ríkjandi vindátt yfir landinu að öðru leyti sé allt önnur. Einnig má búast við vindstrengjum úr þverðolum milli hárra fjalla, sem liggja að fjörðunum. Þeir vindar eru oft hlutfallslega sterkari og misvindasamari en vindar sem stefna eftir fjörðunum. Reyndar er almennt misvindasamt á umræddum stöðum vegna áhrifa fjalla og dala. Má segja að hviðustyrkur sé oft tvöfaldur til þrefaldur miðað við venjulegar aðstæður á sléttlendi, þar sem áhrifa fjalla gætir lítið eða ekki.

Vindaðstæður við Hafnarfjallið eru til dæmis mjög ólíkar þegar vindur blæs af sjó eða landi. Þegar vindurinn blæs af sjó þá er hann alla jafna mjög stöðugur, þar sem hrýfisstuðull vatns er lágur. Vindurinn breytist því lítið með hæð og hviðustyrkur er lítill. Þegar vindurinn blæs af landi þá hefur Hafnarfjallið og fjallendið inn af því mikil áhrif á vindstreymið. Vindurinn verður hviðóttur og vindstefnan er mjög ákvörðuð af legu fjallsins, eins og kemur betur fram síðar.

Tafla 1. Dæmigerð gildi á nokkrum kennistærðum í lýsingu vindhraða. Miðað er við 10 m hæð.

Gerð yfirborðs	Hrýfisstuðull $\kappa (\times 10^{-3})$	Hrýfislengd z_0 (m)	Hviðustyrkur I_u	Hviðustuðull G_u ($g_0 \approx 3.5$)
Ís	0.8 - 1.2	$10^{-5} - 10^{-4}$	0.06 - 0.09	1.1 - 1.3
Vatn	1.2 - 1.9	$10^{-4} - 10^{-3}$	0.08 - 0.11	1.2 - 1.4
Sandur/snjór	1.6 - 2.4	0.0005-0.003	0.10 - 0.12	1.3 - 1.5
Lágvaxið gras	2.2 - 4.1	0.002 - 0.02	0.11 - 0.16	1.3 - 1.6
Hávaxið gras, korn, runnar	3.3 - 7.5	0.01 - 0.1	0.13 - 0.20	1.4 - 1.8
Dreifð byggð eða skógur	5.7 - 18	0.05 - 0.5	0.17 - 0.28	1.5 - 2.0
Þétt byggð eða skógur	15 - 30	0.4 - 1	0.25 - 0.35	1.9 - 2.2
Stórborgir	25 - 110	0.8 - 3	0.30 - 0.40	2.0 - 2.4

2.3 UM SAMSPIL VINDS, ÖKUTÆKIS OG VEGAR

Hægt er að setja fram stærðfræðileg líkön sem ætlað er að lýsa hreyfingum ökutækja, þeim kröftum sem samspil ökutækis og vegar orsakar svo og þeim kröftum sem samspil bíls og lofts veldur. Þessa krafta má flokka niður í eftirtalda meginflokka:

- *Tregðukraftar* stafa af hraðabreytingum og stefnubreytingum. Til þeirra teljast svonefndir ‘miðflóttakraftar’, sem koma fram þegar bíll beygir og breytir um stefnu.
- *Þyngdarkraftar* skipta máli fyrir stöðugleika bíls þegar hann hallast, t.d. ef akbraut hallar.
- *Núningskraftar* eiga að tryggja ásættanlega aksturseginnleika ökutækja, hér með talinn stöðugleiki. Þeir koma einkum fram vegna núnings milli hjóla og yfirborðs vegar. Þá geta núningskraftar einnig skipt máli þegar meta á stöðugleika farms.
- *Lofstremiskraftar* (enska: *aerodynamic forces*) stafa af afstæðri hreyfingu lofts og bíls. Þeir tengjast því hraða bílsins og stefnu, vindhraða og vindstefnu. Auk þess mótast stærð og stefna kraftanna mjög af lögun bílsins og næsta umhverfi hans.
- *Fjaðurkraftar* og *deyfingarkraftar* tengjast einkum fjöðrum og höggdeyfum svo og dekkjum.

Hreyfingar- og kraftalíkingar ökutækja byggja á grundvallarlögmálum aflfræðinnar. Þessar líkingar eru flóknar (sjá Baker 1991 [16]) og þær er ekki hægt að leysa almennt. Hins vegar er mögulegt að ákvarða ýmsar sérlausnir þeirra með aðstoð tölvu. Slíkar lausnir er hægt að nota til að meta hættu á slysi (sjá t.d. Baker 1986 [20]) og gera ráðstafanir til að draga úr hættu (sjá t.d. Baker 1987 [19]). Til að auðvelda lausn líkinganna er algengt að gera líkanatilraunir í

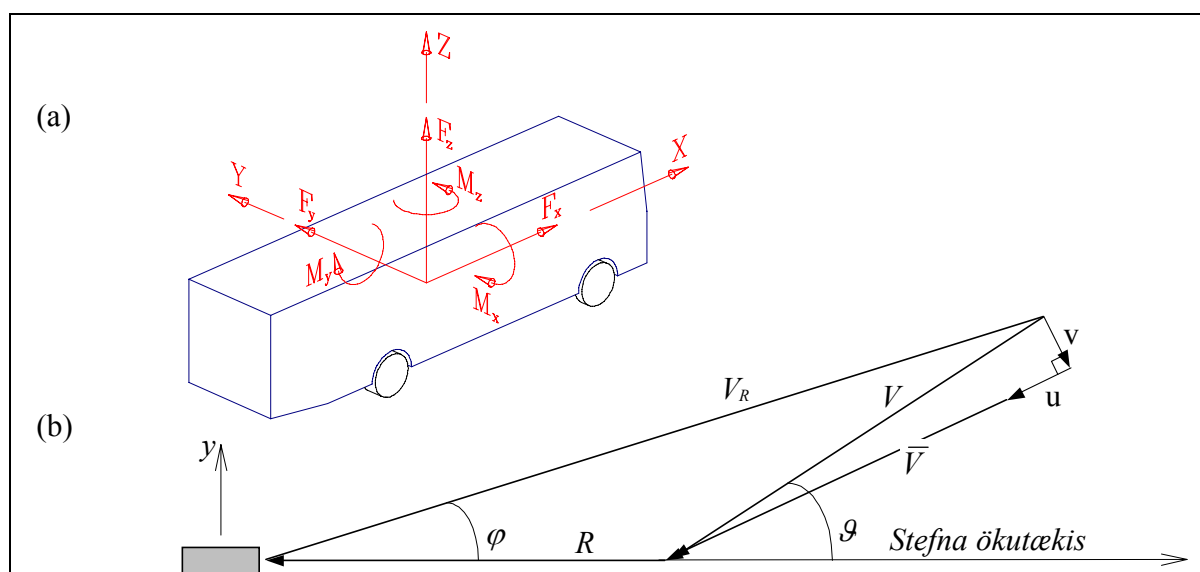
stormgöngum til að ákvarða loftsaflfræðilega eiginleika ökutækja (sjá t.d. Kramer, Grundmann og Gerhardt 1991 [21], Baker 1991[16], Colman og Baker 1994 [12]).

Afleiðingar óstöðugleika bifreiða í vindi eru í meginatriðum tvöskonar: Hjólbarðar tapa veggripi og bifreiðin skrikar til (lateral response) eða bifreiðin lyftist upp öðru megin og veltur um lengdarás sinn (yawing response). Einnig getur verið um ýmiskonar sambland af þessu tvönu að ræða. Dæmi um skilgreiningu á óstöðugleika væri því:

"Óstöðugleiki er tap veggrips framhjóra eða afturhjóra".

Hægt er að skilgreina óstöðugleika á flóknari hátt með því að taka tillit til fleiri þátta en taps á veggripi, svo sem veltu (sjá t.d. Baker 1991 [16]). Dæmigert stöðugleikalíkan sem meta á vindnæmni ökutækis við ákveðin skilyrði tekur tillit til eftirtalinnna áhrifaþátta [33]:

- Loftstreymiseiginleika ökutækis (lögun ofl.)
- Aflfræðilegra eiginleika (massadreifing, hjólbarðar, fjöðrun)
- Stýrisbúnaðs
- Svörun ökumanns
- Halla og lögun akbrautar



Mynd 3. Skilgreining (a) loftstreymiskrafta sem verka á ökutæki á ferð og (b) hraðavektora (í plani).

2.3.1 Loftstreymiskraftar

Með tilvísun í mynd 3 má lýsa loftstreymiskröftunum með eftirfarandi líkingum:

$$F_i = \frac{1}{2} \rho C_{F_i}(\varphi) A_i V_R^2 \quad \text{og} \quad M_i = \frac{1}{2} \rho C_{M_i}(\varphi) A_i d_i V_R^2 \quad ; \quad i \in \{x, y, z\}; \quad (15)$$

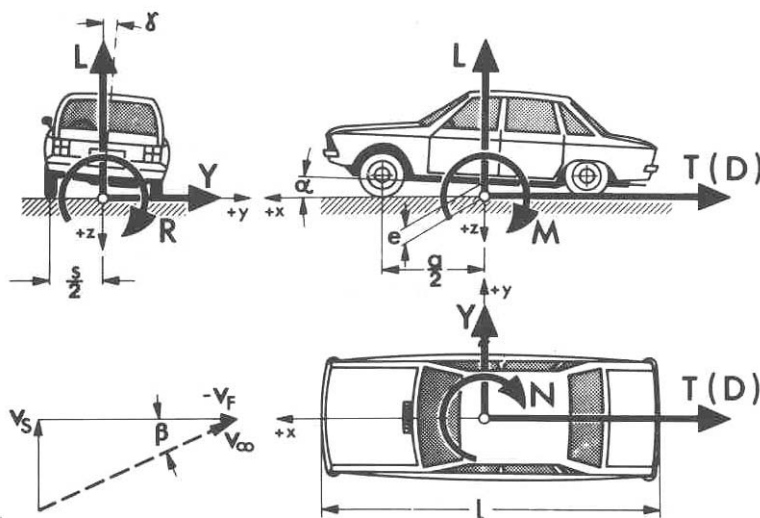
$$V_R = \sqrt{(R + V \cos(\vartheta))^2 + (V \sin(\vartheta))^2} \quad \text{og} \quad \varphi = \tan^{-1}(V \sin(\vartheta)/(R + V \cos(\vartheta))) \quad (16)$$

Hér er V vindhraðinn; ϑ er innfallshorn vindsins mælt með hliðsjón af stefnu ökutækis is; R er hraði ökutækis; φ er afstætt innfallshorn loftstraumsins sem rekst á ökutækið; F_i og M_i eru

loftstreymiskraftarnir og loftstreymisvægin um viðeigandi ása; C_{F_i} og C_{M_i} eru einingarlausir kraft- og vægisstuðlar (formstuðlar); A_i er viðmiðunarflatarmal og d_i er samsvarandi vægisarmur. V_R er hinn virki loftstreymishraði sem verkar á ökutækið þegar tillit hefur verið tekið til hraða ökutækisins.

Loftstreymiskraftarnir ákvarðast því svonefndum formstuðlum (C_{F_i} og C_{M_i}), átakspunktum, afstæðum hraða lofts og bíls svo og afstæðu innfallshorni vinds. Formstuðla og átakspunkta má reikna út frá svonefndum þrýstingsstuðlum sem ákvarðaðir hafa verið á grundvelli stormgangatilrauna (sjá t.d. Baker 1986 [20], Baker 1988 [18], Colman og Baker 1990 [14]). Bent er á að loftstreymiskraftar eru í réttu hlutfalli við tvíveldi afstæðs hraða lofts og ökutækis. Vindur sem stefnir skáhallt á akstursstefnu orsakar loftstreymiskraftþátt þvert á bílinn, bæði í lóðrétta og lárétta stefnu. Lóðréttur kraftþáttur stefnir ávallt upp, óháð stefnu vindsins. Þá er vakin athygli á því að staðsetning átakspunkts loftstreymiskrafta er almennt önnur en staðsetning þyngdarpunkts ökutækja og á það bæði við um kraftþætti í lóðrétta og lárétta stefnu.

Ef hviðustuðull er 1,5 í samræmi við það sem sagt var í kaflanum hér að framan, þá orsaka tvíveldisáhrif hraðans það, að augnbliks hliðaráraun sem bíll verður fyrir getur rúmlega tvöfaldast á nokkrum sekúndum. Rétt er að benda á að slík aukning hliðaráraunar getur hæglega verið orsök þess að bíll breytir lítillega um stefnu sem nauðsynlegt er að leiðrétta til að halda honum á vegi.



Mynd 4. Loftstreymiskraftar og snúningsvægi sem verka á ökutæki [33]. Athuga ber að snúningsmiðjan eins og hún er sýnd á myndinni er almennt ekki raunveruleg átaksmiðja loftstreymiskraftanna.

Mynd 4 gefur ýtarlegri lýsingu á þeim kröftum sem geta verkað á ökutæki á ferð:

- Loftmótstaða í akstursstefnu, (T). Átakspunktur er ofarlega og á ökutækið verkar snúningsvægi (M).
- Lyftikraftur (L). Getur verið misjafn að frama og aftan. Vinnur á móti þyngdarkraftinum og dregur því úr veggripi. Lyftikrafturinn er alla jafna hærri við hliðarvind en án hliðarvinds.

- Hliðarkraftur (Y). Í sterkum hliðarvindi getur hliðarkraftur orðið stærri en loftmótstöðukrafturinn í akstursstefnu, þar sem ökutæki eru alla jafna hönnuð m.t.t. þess að loftmótstaða í akstursstefnu sé lítil. Hliðarkrafturinn verkar í þrýstingsmiðju og myndast getur vægi um lóðréttan ás, (N), sem leitast við að breyta stefnu ökutækis. Hliðarkraftur veldur því að ökutæki skriður til hliðar, en sú hliðrun er m.a. háð stífni hjólbarða. Ef átakspunkturinn er ofarlega myndast veltuvægi (R).

Til einföldunar er oft litið á ökutæki sem stjarfan (rigid) hlut en þá er ekki tekið tillit til fjaður- og deyfikrafta, enn fremur er ekki tekið tillit til tregðukrafta í akstursstefnu bílsins svo sem vegna breytinga á ökuhraða. Þá má lýsa hliðarkrafti á kyrrstætt ökutæki þegar vindur er hornrétt á akstursstefnu á einfaldaðan hátt með eftirfarandi líkingu:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho \cdot V_R^2 \cdot A \cdot C_D \quad (17)$$

þar sem F_D er loftstreymiskraftur (þ.e. hliðarkraftur á ökutæki), ρ er eðlismassi lofts, U er vindhraðinn, A er flatarmál fyrir þess flatar ökutækis sem er hornréttur á vindinn og C_D er formstuðull sem er háður lögun ökutækis.

2.4 NÚNINGSKRAFTAR OG VEGGRIP

Láréttir núningskraftar (viðnámskraftar) verka milli hjóla hjólbarða ökutækis og yfirborðs vegar. Samspilið er flókið. Núningskraftarnir gera framdrift bíla mögulega auk þess sem þeir verða að tryggja stöðugleika og hindra hliðarskrið, og samtímis þurfa þeir að tryggja að hægt sé að stöðva með því að bremsa. Á þessa krafta reynir þegar hraða- eða stefnubreyting verður á ferð ökutækis, þegar ekið er í brekku, hliðarhalla eða í hliðarvindi. Alla jafna er miðað við að kraftarnir séu í réttu hlutfalli við þá lóðréttu krafta sem verka á hjól bílsins. Þannig verður hæsti mögulegi lárétti kraftur, F_r , sem myndast getur milli hjólbarða og vegaryfirborðs, margfeldi hlutfallsstuðulsins, μ , og lóðréttu kraftsins, F_n , sem hvílir á hjólbarðanum [29]:

$$F_r = \mu \cdot F_n \quad (18)$$

Hlutfallsstuðullinn, μ , er nefndur núningsstuðull (viðnámsstuðull) og lýsir viðnámsseiginleikum milli hjólbarða og vegaryfirborðs. Hann er breytilegur eftir aðstæðum og háður mörgum þáttum. Þeir mikilvægustu eru:

- Gerð og eiginleikar yfirborðs vegarins
- Gerð og ástand hjólbarða
- Hraði ökutækis

Tölugildi núningsstuðuls getur legið á bilinu frá 1 til 0, eftir því hvernig þessir þættir vinna saman. Núningstuðull er eðlilega lægri fyrir blautan veg en þurran og lækkar enn frekar ef slabb eða hálka er á veginum. Á þurru malbiki eru dæmigerð gildi á bilinu 0.7-0.8, á blautu malbiki allt niður að 0.5, á þurrum þjöppuðum snjó á bilinu 0.15-0.30, á þurru ís 0.10-0.30, og á blautum ís á bilinu 0.05-0.10 [30]. Almenn er núningstuðull lægri fyrir slitin dekk en ný óslitin dekk, þó getur það snúist við á þurru sléttu vegyfirborði. Jafnframt lækkar núningstuðull með vaxandi ökuhraða.

Venja er að greina á milli einstakra kraftþátta núningsins eftir eðli átaksins. Talað er um bremsunúning (breaking friction) sem gefur mótstöðu þegar bremsað er, snúningsnúning (rolling friction) sem gefur mótstöðu við akstur og hliðarskriðsnúning (sideslip friction) sem er mótstaða gegn hliðarskriði. Efri mörk einstakra kraftþátta mótast af hámarkstærð núningsins við gefnar aðstæður, til dæmis lækkar sú hliðarskriðsmótstaða sem til ráðstöfunar er eftir því sem bremsumótstaða eykst (sjá B. Thagesen 1984[36]).

Af þessum forsendum leiðir, að með því að draga úr ökuhraða eykst veggrip en minnkar með því að auka hraðann. Þannig er almennt 'refsað' fyrir 'hraðakstur' í mati á stöðugleika. Jafnframt þarf að taka tillit til mismunandi ástands dekkja.

Sem dæmi um áhrif veggrips á slyshættu við almennar aðstæður má nefna að niðurstöður norskrar rannsóknar benda til þess að hætta á slysum tvöfaldast þegar viðnámsstuðull lækkar frá 0.5 niður í 0.25 [30].

Ef miðað er við þá einföldu stöðugleikaskilgreiningu sem sett var fram hér að ofan, þ.e. "*Óstöðugleiki er tap veggrips framhjóra eða afturhjóra*", þá jafngildir það því að láréttir viðnámskraftar séu stærri en loftstreymiskrafturinn sem verkar á ökutækið. Þ.e.:

$$F_r > F_D \quad (19)$$

Þannig fæst einfölduð mynd af því kraftajafnvægi sem ríkir fyrir ökutæki í hliðarvindi. Einangra má viðnámsstuðulinn til þess að meta lægsta hugsanlega viðnám sem þarf til þess að viðhalda jafnvægi:

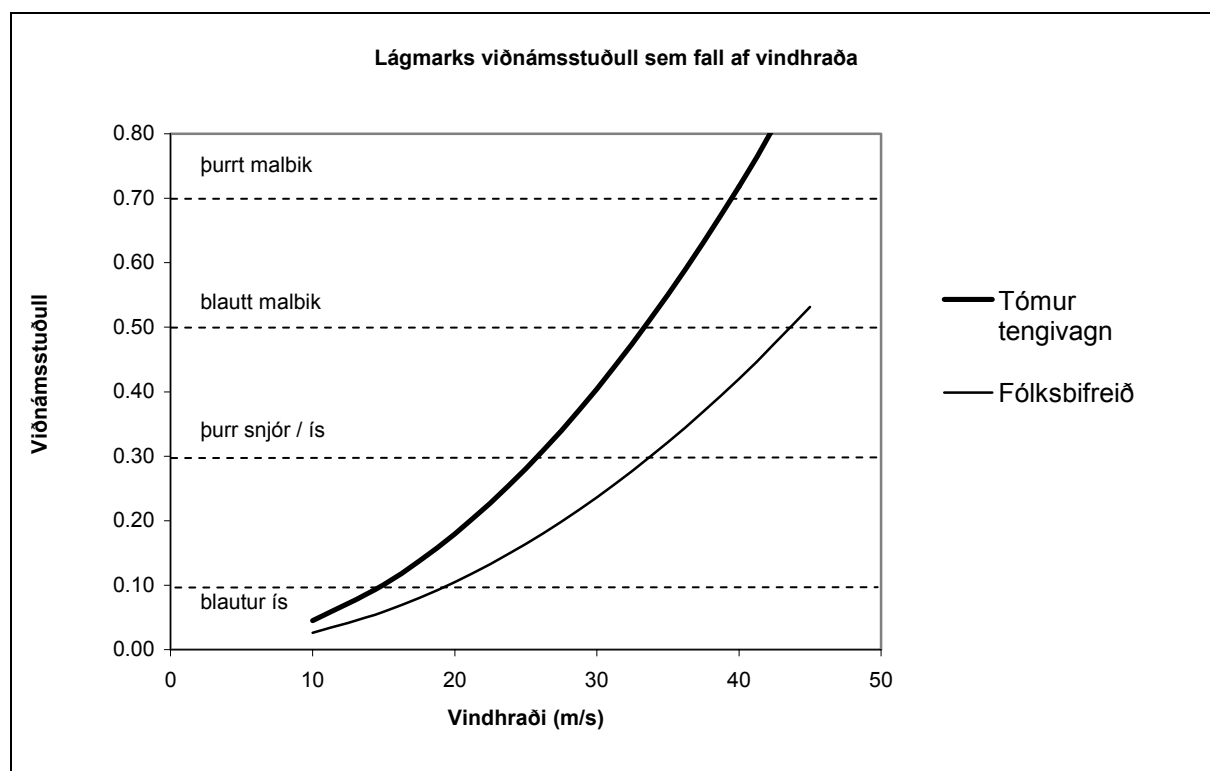
$$\mu > \frac{\rho \cdot V_R^2 \cdot A \cdot C_D}{2 \cdot m \cdot g} \quad (20)$$

Í líkingu (20) er miðað við að lóðrétti krafturinn sé þyngdarkrafturinn, því er m massi ökutækisins og g er þyngdarhröðun jarðar. Hér hefur því verið litið framhá lyftikrafti vindsins sem vinnur gegn þyngdarkraftinum.

Tökum nú dæmi um tvö ólík ökutæki, a) tómur tengivagn og b) fólksbíll. Einföldum dæmið enn frekar með því að gera ráð fyrir að ökutækið sé kyrrstætt ($V_R = V$). Aðrar helstu stærðir sem nota þarf eru gefnar í töflu 2. Þegar reiknað er út úr jöfnu (20) fyrir þessi tvö ökutæki fæst mynd 5, sem gefur hugmynd um það hvernig svörun ólíkra ökutækja er við mismunandi vindhraða. Á lóðrétta ásnum er sýndur lágmarks viðnámsstuðull, μ , sem þarf til þess að kyrrstætt ökutæki missi ekki veggrip í hliðarvindi. Líklegt er að í mörgum tilfellum þegar um há og létt ökutæki er að ræða, valdi vægi um láréttan ás í akstursstefnu því að ökutækið velti áður en veggrip brestur.

Tafla 2. Dæmi um eiginleika ólíkra ökutækja, sem hafa áhrif á svörun við hliðarvindi.

	Tómur tengivagn	Fólksbifreið
hæð (m)	2,5	1,5
lengd (m)	10	4
flatarmál (m ²)	25	6
C_D	2,2	1,0
massi (kg)	7500	1200



Mynd 5. Útreikningar á lágsta hugsanlegum viðnámsstuðli sem þarf að vera til þess að viðhalda kraftajafnvægi fyrir ólík ökutæki í mismunandi sterkum hliðarvindi.

Rétt er að leggja áherslu á að mynd 5 gefur aðeins einfaldaða hugmynd um samhengi vindhraða, veggrips (færðar) og eiginleika ökutækis, sem ber á engan hátt að túlka sem nákvæmar niðurstöður fyrir viðkomandi ökutæki. Þegar ökutækið er á hreyfingu og tekið er fullt tillit til allra hinna þriggja megin loftstreymiskrafta og tilheyrandi vægja sem sjá má á myndum 3 og 4 þá verður samspil krafta mun flóknara. Einnig þarf að taka tillit til breytileika vindsins í tíma og rúmi ef vel á að vera.

Í þessu samhengi ber að ítreka að viðnámsstuðull (milli hjólbarða og vegaryfirborðs) fyrir hliðarhreyfingu ökutækis (side friction factor) minnkar með auknum ökuhraða [38]. Þannig veldur aukinn ökuhraði auknum líkum á slysum í hliðarvindi. Einnig eykur hár ökuhraði heildar vindkrafta á ökutæki, sem í flestum tilfellum léttir þunga af hjólum og dregur enn úr veggripi þeirra. Auk þess gefur aukinn hraði ökumanni styttri tíma til að bregðast við vinddrifnum stefnubreytingum ökutækisins.

Hægt er að búa til líkindafræðilegt tölvulíkan til að meta skriðstöðugleika bifreiða í vindi [3] sem byggir á þeim tiltölulega einföldu líkingum sem hér hafa verið settar fram. Niðurstöður tölvulíkansins er hægt að setja fram með svonefndu *stöðugleikariti*. Ritið er mynd sem sýnir tvískiptingu rúms grunnbreyta í svæði *stöðugleika* og svæði *óstöðugleika*, það er að segja svæði þar sem veggrip tapast. Ferillinn (flöturinn) sem afmarkar svæðin táknar upphaf óstöðugleikans. Tvær megin grunnbreyturnar sem skoða þarf sérstaklega eru *vindhraði* og *ökuhraði*. Við útreikninga má líta á þær sem óháðar og hægt er að ákvarða óstöðugleikann fyrir fyrirfram ákveðin hraðabil. Tilgangurinn er þá að meta við hvaða ökuhraða annars vegar og vindhraða hins vegar má búast við óstöðugleika vegna þess að hjól ökutækis tapa veggripi. Aðrar grunnbreytur sem taka þarf tillit til tengjast vegi og ökutæki og hafa áhrif annars vegar á mat á veggripi en hins vegar á ákvörðun loftstreymiskrafta. Jafnvel er hægt að auka við og þróa slíkt tölvulíkan þannig að það taki einnig tillit til viðbragða ökumannsins. Slík líkön hafa verið sett fram (sjá Baker 1994 [15]) og benda niðurstöður til þess að bílstjórar verði lítið varir við akstursörðugleika fyrr en vindhraði er komin nálægt stöðugleikamörkum. Af því virðist mega draga þá ályktun að ökutæki geti orðið óstöðugt án viðvörðunar sem gerir bílstjórum erfitt að bregðast við með viðhlítandi hætti.

3 Framkvæmd fyrsta áfanga

Eini athugunarstaður í fyrsta áfanga er Hringvegurinn við Hafnarfjall. Með því að vinna aðeins með einn stað í upphafi er markmiðið að prófa hugmyndafræði og safna reynslu um það hvernig heppilegt er að standa að slíkum athugunum og einangra þau atriði sem fjalla skal um þegar fleiri athugunarstaðir bætast við.

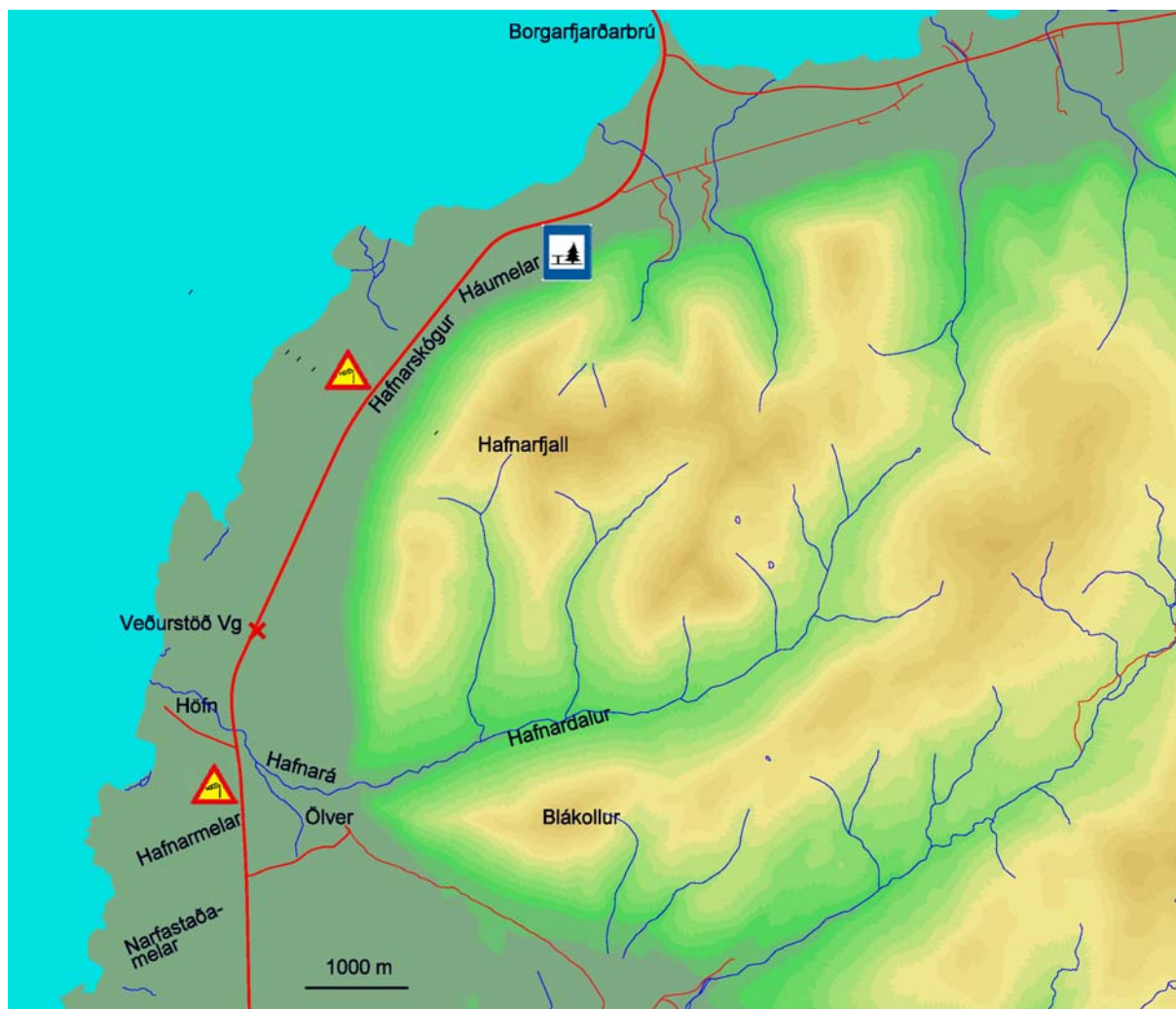
Vindafar við Hafnarfjall var rannsakað með greiningu mælinga úr sjálfvirkum veðurstöðvum í grenndinni, einkum var lögð áhersla á gögn frá Veðurstöð Vegagerðarinnar við Hafnarfjall. Slys voru flokkuð með hliðsjón af skráðum veðurupplýsingum frá veðurstöð Vg við Hafnarfjall, tegund ökutækja og hugsanlegra eftirvagna, staðsetningu slyss og öðrum aðstæðum sem við eiga, svo sem samspil hálfu og vinds. Þá voru gerðar tölvuhermanir af vindstreymi yfir Hafnarfjall fyrir ákveðnar vindáttir sem þóttu áhugaverðar. Auk þess fóru fram vindmælingar með færanlegu vindmælitæki á veginum og nokkrum stöðum í nágrenni hans. Gerð verður frekari grein fyrir hinum ýmsu framkvæmdaþáttum í kafla 4.

4 Athuganir við Hafnarfjall

4.1 STADHÆTTIR

Skoðunarstaðurinn á þjóðvegi nr. 1 undir Hafnarfjalli afmarkast af Narfastöðum í suðri og Borgarfjarðarbrú í norðri (sjá mynd 6).

Árið 1998 hófst tilraun með ræktum skjólbelta við veginn undir Hafnarfjalli í umsjá Grundar, Landgræðslufélags við Skarðsheiði [31]. Samkvæmt heimild [31] er það von aðstandenda að þessar aðgerðir muni þegar fram líða stundir veita skjól á veginum og draga úr hættu vegna vinda, en gert er ráð fyrir að hámarks árangri verði náð þegar skjólbeltin eru 10-20 ára. Lega þessari skjólbelta í nánd við veginn er þó að mati skýrsluhöfunda með þeim hætti að auknar líkur eru á vandamálum vegna skafrennings á veginum af þeirra völdum.



Mynd 6. Athugunarsvæðið, Hringvegurinn við Hafnarfjall.

4.2 GÖGN FRÁ VEÐURSTÖÐ VIÐ HAFNARFJALL

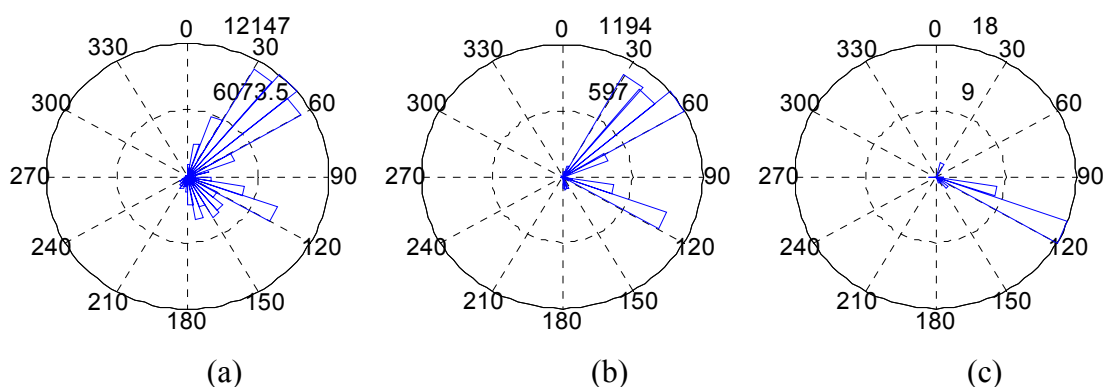
Unnið hefur verið úr vindgögnum frá veðurstöð Vegagerðarinnar (Vg) undir Hafnarfjalli. Dæmi um niðurstöður úrvinnslunnar má sjá á myndum 7 og 8. Veðurstöðin safnar 10 mínútna meðaltölum fyrir vindstefnu og vindhraða, auk hágildisvindhraða innan hvers 10 mínútna tímabils. Mælingarnar hófust haustið 1994 og hafa staðið óslitið síðan.

Til að skýra með einföldum hætti áhrif vindafars við Hafnarfjall voru meðalvindhraði og hágildisvindhraði flokkaðir niður í þrjú hraðaflokka. Tíðni vindstefna innan hvers hraðaflokks er svo birt sem vindrós. Mynd 7 sýnir þannig þrjár vindáttadreifingar fyrir meðalvindhraða. Það er fyrir meðalvindhraða yfir 10 m/s, meðalvindhraða yfir 20 m/s og meðalvindhraða yfir 30 m/s. Mynd 8 sýnir sambærilegar vindáttadreifingar fyrir hágildisvindhraða, en aðra hraðaflokkun. Það er fyrir hágildisvindhraða yfir 20 m/s, hágildisvindhraða yfir 30 m/s og hágildisvindhraða yfir 40 m/s. Þessar myndir sýna greinilega hvernig fjallið hefur áhrif á vindstreymið. Segja má að það sé einungis tveir virkir vindáttageirar, þ.e. milli 30-60° og 110-130°. Einnig má sjá að þó að norðaustan áttin sé algengust þá koma sterkustu vindarnir úr austsuðaustri. Ef vindrósir meðalvindhraða og hágildisvindhraða eru bornar saman, þá sést að hágildi vindhraða verða stærri úr suðaustri en norðaustri.

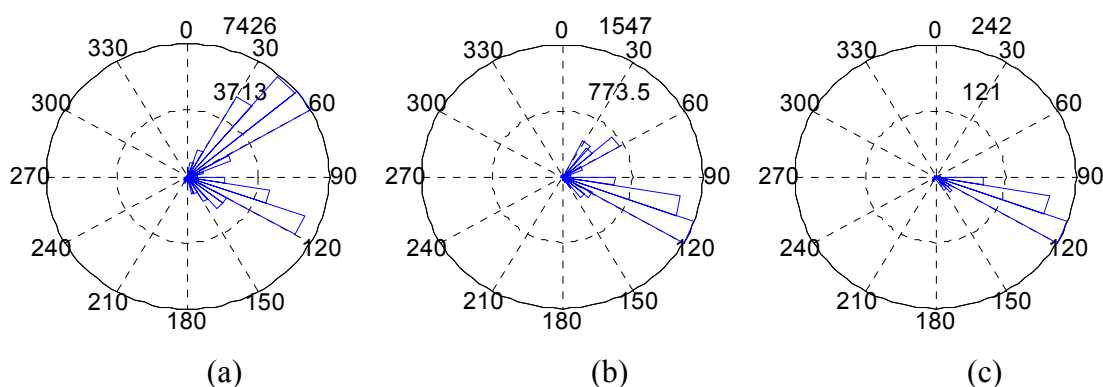
Í því sambandi er áhugavert að skoða hviðustuðlana, þ.e. hlutfall hágildisvindhraða og meðalvindhraða (sjá líkingu 3 í kafla 2.2). Hviðustuðlar fyrir hágildisvindhraða yfir 20 m/s

eru teiknaðir sem fall af vindstefnu á mynd 10. Þar sést fyrir það fyrsta að hviðustuðullinn er almennt frekar hár. Ef horft er á hraðaflokkana (litaflokkana) sem sýndir eru á myndinni, má sjá að hviðustuðullinn lækkar með auknum hraða. Einnig sést að fyrir 30-60° liggur hviðustuðullin á bilinu 1,2-1,8 ef hágildishraðinn er meiri en 30 m/s. Hins vegar er hann mun hærri fyrir 100-150°, eða á bilinu 1,3 til 3,5. Þetta eru mjög há gildi, en þau eru skiljanleg í ljósi myndar 9, þar sem sýndar eru yfirlitsmyndir yfir Hafnarfjallið og nágrenni.

Safnað hefur verið saman gögnum frá ýmsum öðrum veðurstöðum í nágrenninu, bæði í umsjón Vegagerðarinnar sem og Veðurstofu Íslands. Þau gögn verða notuð í næsta áfanga til samanburðar við gögnin í veðurstöð Vg undir Hafnarfjalli, til að öðlast betri mynd af vindafari á svæðinu í heild. Jafnframt gefa þau upplýsingar sem hægt er að nota við vindhermanir í tölvu (sjá kafla 4.5).



Mynd 7. Vindáttadreifing fyrir tíðni meðalvindhraða (a) stærri en 10 m/s, (b) stærri en 20 m/s og (c) stærri en 30 m/s. Mælitímabilið er frá október 1994 til júní 2003.



Mynd 8. Vindáttadreifing fyrir tíðni hágildisvindhraða (a) stærri en 20 m/s, (b) stærri en 30 m/s og (c) vindhraða stærri en 40 m/s. Mælitímabilið er frá október 1994 til júní 2003.

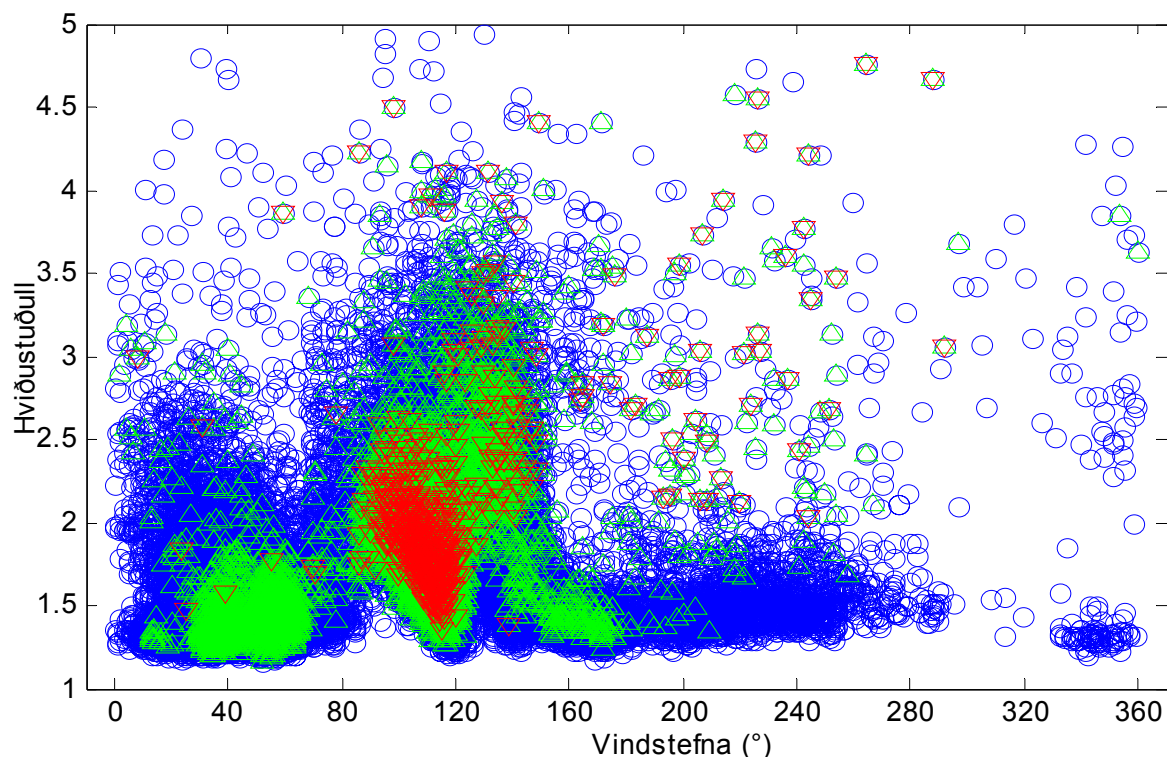


(a)



(b)

Mynd 9. Hafnarfjall og nágrenni. (a) Horft frá norðaustri. (b) Horft frá vestri. [37]



Mynd 10. Hviðustuðull sem fall af meðalvindstefnu. Bláu hringirnir sýna hviðustuðul þegar hágildishraðinn er stærri en 20 m/s, grænu þríhyrningarnir sýna hviðustuðul þegar hágildishraðinn er stærri en 30 m/s og rauðu þríhyrningarnir sýna hviðustuðul þegar hágildishraðinn er stærri en 40 m/s.

4.3 UMFERÐARSLYS VIÐ HAFNARFJALL 1995-2001

Umferðartölur frá Vegagerðinni (sjá töflu 3) sýna að umferð á Hringveginum undir Hafnarfjalli hefur aukist jafnt og þétt eftir tilkomu Hvalfjarðarganga árið 1998 [34]. Hlutfall þungra bíla í umferðartölunum í töflu 2, er 9 % samkvæmt umferðartalningum.

Tafla 3. Umferðartölur frá teljara við Hafnarfjall.

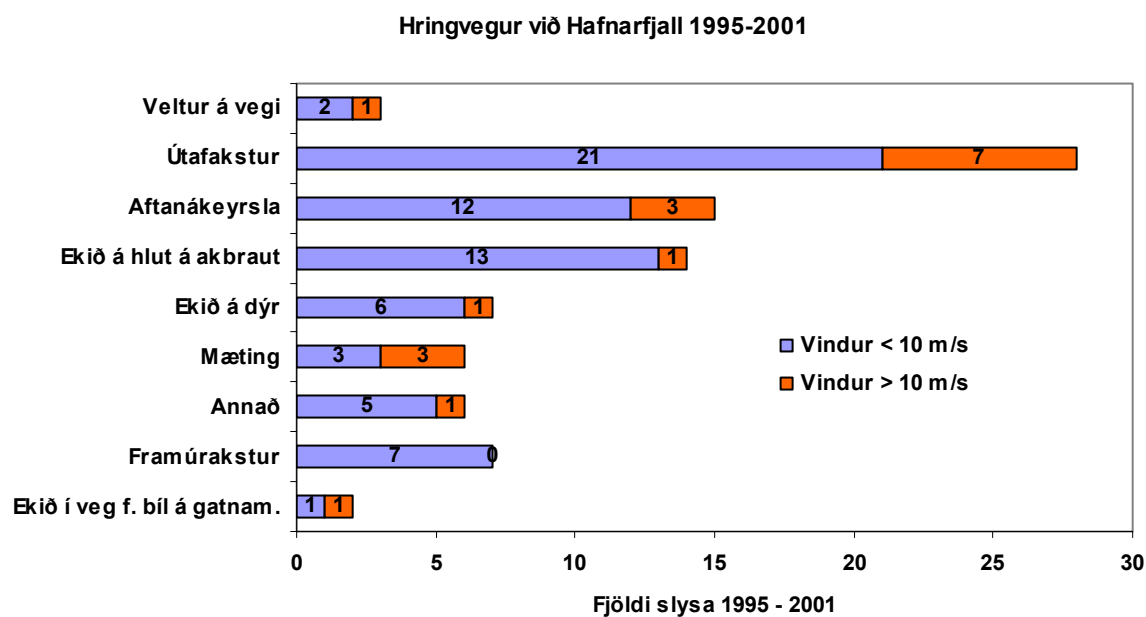
	Meðal sólarhringsumferð (SDU) júní til september	Meðal sólarhringsumferð yfir árið (ÁDU) (Áætlanadeild Vg)	aukning ÁDU
1997	2332	1759	(viðmið)
1999	3472	2285	30%
2002	4000	2739	56%

Á athugunartímabilinu 1995-2001 eru samkvæmt Slysagagnabanka Umferðarráðs skráð 88 umferðarslys á 10 km vegkafla frá Narfastöðum að Borgarfjarðarbrú (tafla 4). Algengast er að um útafakstur sé að ræða, eða 28 slys. Þau slys sem urðu við meðalvindhraða hærri en 10 m/s eru skoðuð nánar með tilliti til vindahættu en fjöldi þessara slysa er átján eða 20% af öllum slysum. Af þeim slysum, hér á eftir kölluð vindaslys, urðu sex á blautum vegi og sex á snjó eða hálfu, þrjú urðu á þurru vegi og í þremur slysum var færð óskráð. Í þeim sjötíu

óhöppum og slysum sem urðu við lægri vindhraða en 10 m/s gerðust fimm á blautum vegi og fjórtán á snjó eða hálfu.

Tafla 4. Flokkun umferðarslysa við Hafnarfjall 1995-2001

Tegund slyss	vindur < 10 m/s			vindur > 10 m/s			Alls		
	án meiðsla	meiðsli	alls	án meiðsla	meiðsli	alls	öll slys	án meiðsla	meiðsli
Veltur á vegi	1	1	2	0	1	1	3	1	2
Útafakstur	13	8	21	6	1	7	28	19	9
Aftanákeyrsla	8	4	12	0	3	3	15	8	7
Ekið á hlut	13	0	13	1	0	1	14	14	0
Ekið á dýr	5	1	6	1	0	1	7	6	1
Mæting	3	0	3	3	0	3	6	6	0
Annað	4	1	5	0	1	1	6	4	2
Framúrakstur	6	1	7	0	0	0	7	6	1
Gatnamót	1	0	1	1	0	1	2	2	0
Alls	54	16	70	12	6	18	88	66	22



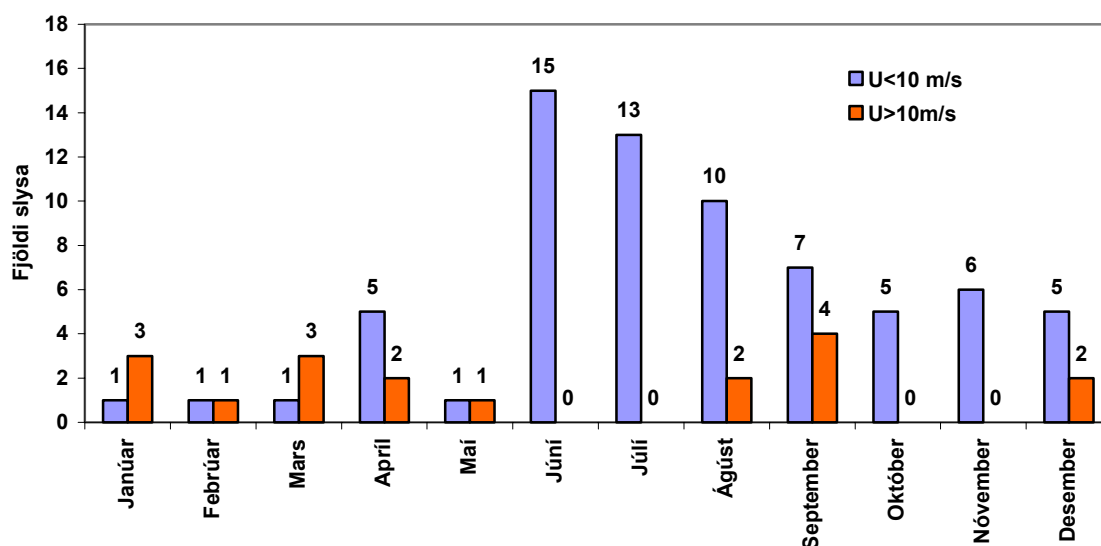
Mynd 11. Umferðarslys undir Hafnarfjalli 1995-2001. Tegundir slysa og vindhraði.

Mynd 11 sýnir skiptingu slysa eftir því hvort líkur eru á að vindur sé meðverkandi orsök slyss, en á Mynd 12 er dreifing slysa á mánuði ársins.

Útafakstur er langalgengasta tegund slysa sem verða við Hafnarfjall og er það óháð vindhraða. Benda má á að vegurinn er samsettur af löngum beinum köflum og slíkt hefur gjarnan í för með sér hraðakstur og skerta árvekni ökumanna sem eru jafnvel óviðbúnir þeim stefnubreytingum sem gera þarf þar sem beinu kaflarnir tengjast. Nákvæmari staðsetning óhappa af þessu tagi gæti hjálpað til að greina hvort vegaðstæður eru meðverkandi þáttur í viðkomandi óhöppum. Útafakstur varð í 7 tilfellum af 28 samfara sterkum vindi, og var í 6

tilfellum ekið útaf frá fjalli þ.e. undan vindi. Í 5 af vindaslysunum hefur lögregla skráð storm sem hluta af veðurlýsingu, í 3 tilfellum var hvorki skráð lýsing á veðri né færð, í 6 tilfellum er skráð regn og í 3 tilfellum snjókoma. Í einu tilfalli var skráð orsök slyss að ökutæki hafi fokið. Af öllum slysunum 88 voru 24 í hálfku, snjó eða ísingu, 12 á blautum vegi, og í 20 skipti var hvorki skráð veður né færð.

Hringvegur við Hafnarfjall 1995-2001

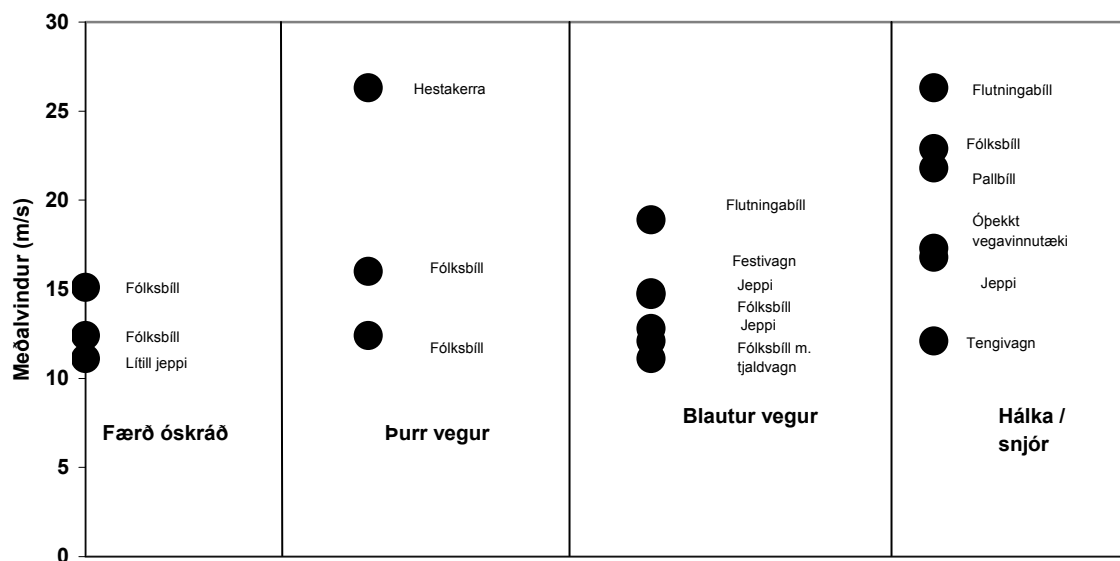


Mynd 12. Umferðarslys undir Hafnarfjalli 1995-2001. Dreifing slysa á mánuði ársins.

Slys sem urðu við meðalvindhraða 10 m/s eða hærri voru flokkuð eftir lýsingu á færð eins og hún var skráð í lögregluskýrslu, og eftir tegund ökutækja. Þessar upplýsingar ásamt tengingu við 10 mínútna meðalvindhraða, hæstu 10 mínútna hviðu, og hviðustuðul er sýndar á næstu þremur myndum hér á eftir. Upplýsingar úr veðurstöð sýna að helsta hættan skapast í NA-átt ($30^\circ - 60^\circ$) og í ASA-átt ($110^\circ - 120^\circ$), miðað við vindáttir eins og þær koma fram í veðurstöð, en líklegt er að meðalvindátt sé breytileg á mismunandi stöðum undir fjallinu á sama tíma. Af 18 vindaslysum urðu 4 við ASA átt, 12 við NNA til NA átt en í tveimur tilfellum vantar skráningu á vindátt í veðurstöð. Á mynd 14 vekur athygli að fjögur slys skera sig úr með mjög háan hviðustuðul, á bilinu 1.92 til 2.48. Þetta eru þau fjögur slys sem gerðust við ASA átt, en þau slys urðu öll á blautum vegi.

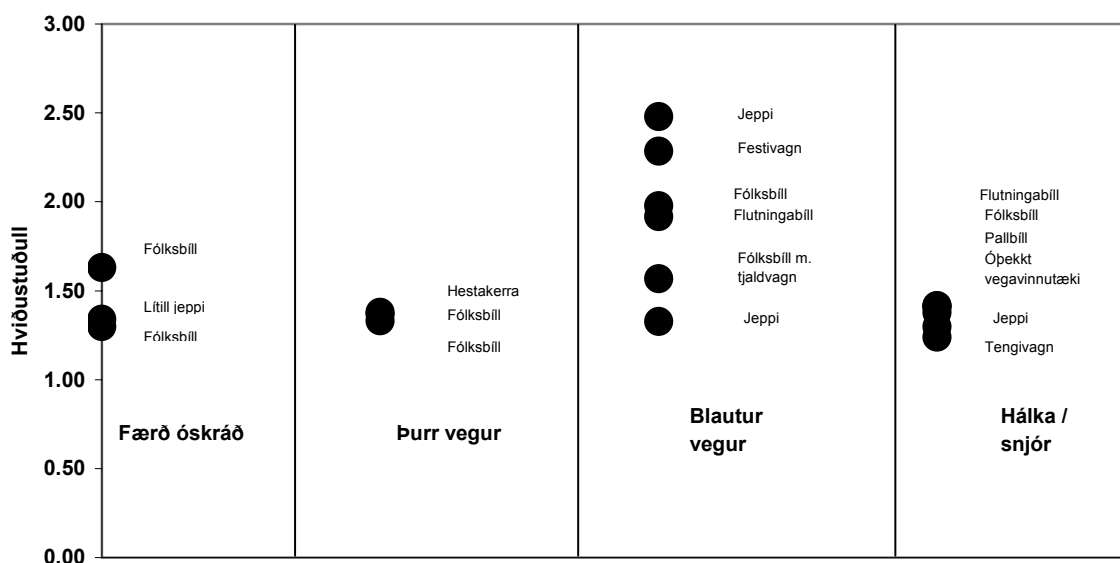
Staðsetning slysa dreifist nokkurn veginn jafnt á athugunarkaflann, en í sumum tilfellum er ekki mögulegt að staðsetja slys af mikilli nákvæmni út frá lýsingu í slysskrá.

Tegund ökutækja, færð og meðalvindhraði



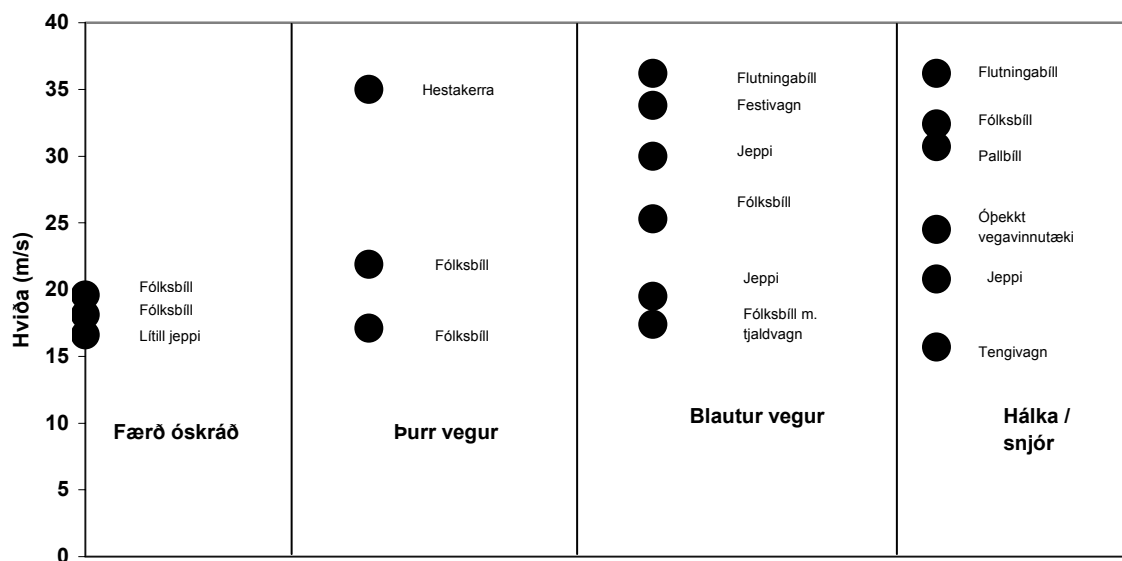
Mynd 13. Umferðarslys undir Hafnarfjalli 1995-2001. Tegund ökutækja, færð og meðalvindhraði í slysi.

Tegund ökutækja, færð og hviðustuðull



Mynd 14. Umferðarslys undir Hafnarfjalli 1995-2001. Tegund ökutækja, færð og hviðustuðull í slysi.

Tegund ökutækja, færð og hviðustyrkur



Mynd 15. Umferðarslys undir Hafnarfjalli 1995-2001. Tegund ökutækja, færð og hviðustyrkur í slysi.

Í viðtali við lögregluna í Borgarnesi kom fram að skráð slys vitna aðeins um hluta af þeim atburðum þegar lögregla er kvödd til aðstoðar við vegfarendur vegna hvassviðris undir Hafnarfjalli. Þannig er fjöldi skráðra slysa verulegt vanmat á fjölda þeirra atburða sem valda töfum og hættu fyrir umferð á svæðinu. Ef ástæða er talin til þess að kortleggja betur áhrif og umfang atburða sem valda hættu og töfum fyrir umferð er möguleiki á því að nýta dagbókarfærslur lögreglu til þess.

4.4 VINDMÆLINGAR Á VEGINUM VIÐ HAFNARFJALL

Farið var í eina ferð til að mæla vind með færanlegu vindmælitæki á veginum og nokkrum stöðum í nágrenni hans. Mælitækið sem notað var má sjá á mynd 2, en mynd 16 sýnir fyrirkomulag mælingarinnar. Þegar mælingarnar fóru fram var vindur á veðurstöð Vg norðaustanstæður, á bilinu 70° til 85° og meðalvindhraði var á bilinu 10 m/s til 14 m/s.



Mynd 16 Færanlegt vindmælitæki við Hafnarfjall.

Mælt var á 12 stöðum við veginn, þar af á 5 stöðum sunnan við veðurstöð Vg og á 6 stöðum norðan við veðurstöðina. Mælt var í 10 mínútur á hverjum stað og safnað tímaröðum með 4,25 gildum á sekúndu. Auk þess var mælt á 6 stöðum utan vegar, það er á þremur stöðum á afleggjaranum að Höfn og þremur stöðum á afleggjaranum að Ölveri (sjá mynd 17). Þar var stoppað í fimm mínútur á hverjum stað og tímaröðum safnað með sömu upplausn og fyrr.

Mældar stærðir voru augnabliks vindstefna, vindhraði í vindstefnu og lóðréttur vindhraði. Reiknuð voru meðalgildi og staðalfrávik vindstefnu og vindhraða, ásamt hágildi vindhraða (u.þ.b. einnar sekúndu hviða), hviðustuðli og hviðustyrk (sjá kafla 2.2).

Tilgangur mælingarinnar var að skoða hversu breytilegar vindurinn er, m.t.t. hraða og stefnu, á veginum við Hafnarfjall. Ákveðið var að nota veðurstöð Vg sem viðmiðunarpunkt. Mælingarnar eru því fyrst og fremst skoðaðar sem hlutfall eða mismunur mæligilda frá Veðurstöð Vg.

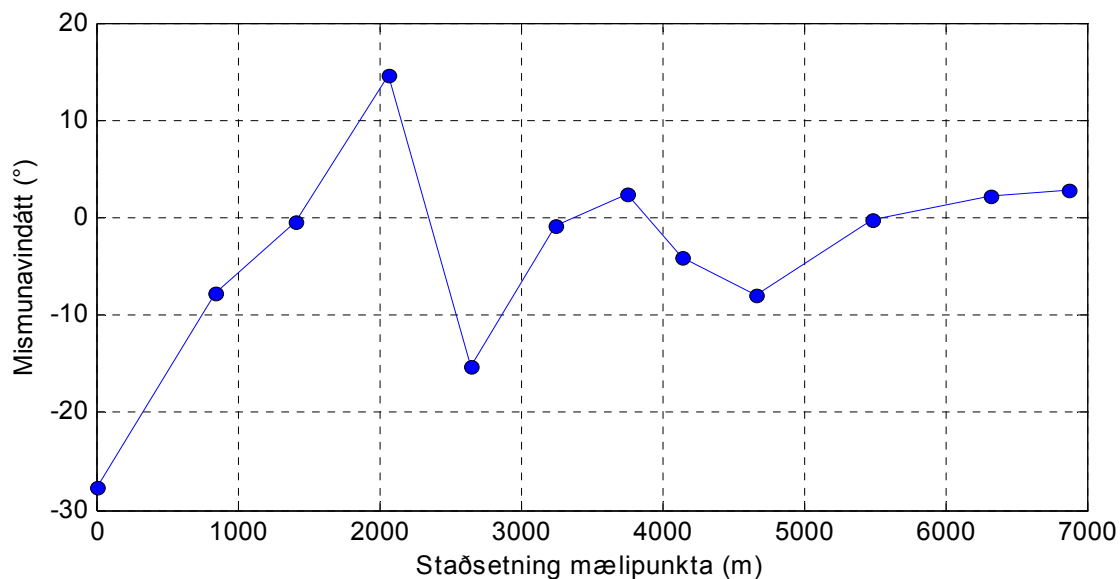


Mynd 17. Staðsetning mælipunkta við Hafnarfjall. Punktarnúmer 101 til 112 sýna mælistaði við þjóðveginn, en punktar númer 201 til 206 sýna mælistaði á vegum utan þjóðvegarins.

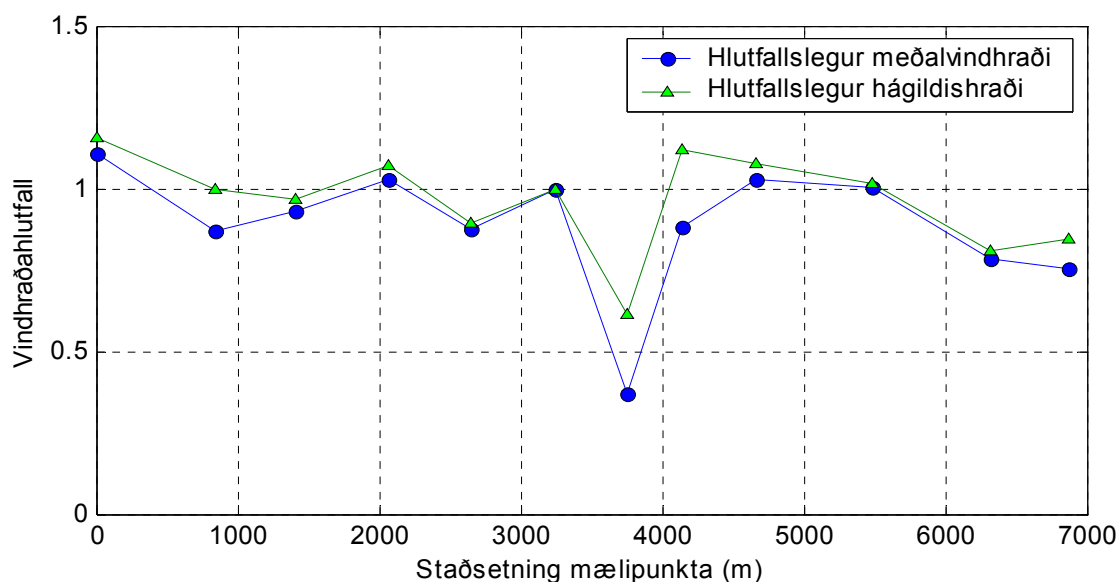
Mynd 18 sýnir þannig mismun meðalvindáttar við veginn og meðalvindáttar á veðurstöð Vg (staðsett í 3.300 m). Eins og sjá má, þá er umtalsverður breytileiki í vindáttinni eftir því hvar er við fjallið. Vindáttin er þó ekki svo mjög breytileg eftir að kemur norður fyrir veðurstöð Vg. Greinilegt er að Hafnardalurinn hefur mikil áhrif á vindátt sunnan veðurstöðvarinnar.

Á hinn bóginn virðist ekki svo mikil hlutfallslegur munur vera á meðal- og hágildisvindhraða eftir veginum (sjá mynd 19), ef frá er talin mælistaður 105, en þar var mun lygnara. Hvort það voru tilfallandi aðstæður eða hvort þar myndast skjól í þessari átt er ekki vitað með vissu. Frekari mælingar þarf til að unnt sé að ákvarða slíkt.

Ef hviðustuðullinn, eins og hann er mældur við veginn, er borinn saman við samtíma hviðustuðul á veðurstöð Vg, þá sést að hann er lægstur á veðurstöð Vg (sjá mynd 20) en hæstur 425 m norðar. Athuga ber að hviðustuðullinn frá mælistað í 105 m var hærri, en hann er ekki birtur á myndinni þar sem vindhraðinn þar var of lágur til að hann geti talist marktækur. Þetta bendir til þess að á þessum slóðum (þ.e. í 3.700-3.800 m), þ.e. á milli mælipunkta númer 107 og 104, sé ákveðinn óstöðugleiki í vindafari.

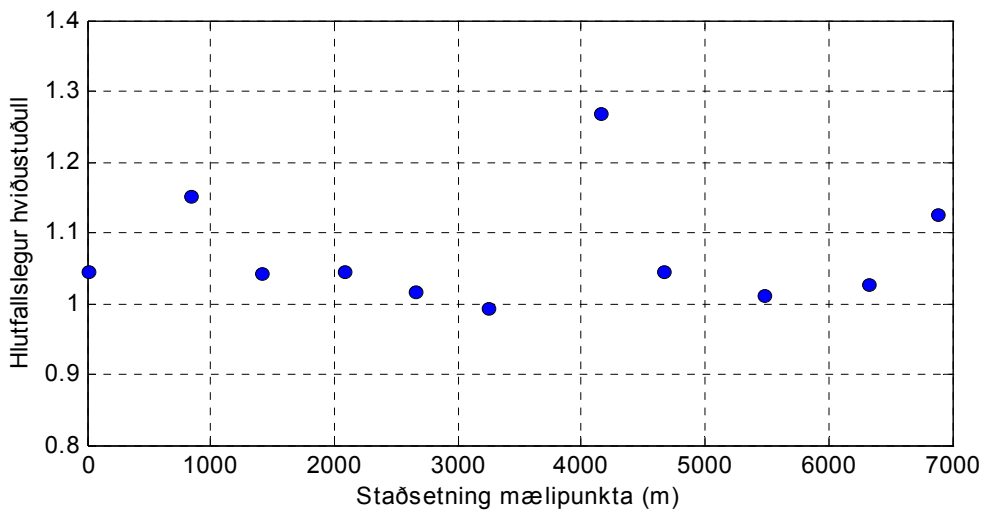


Mynd 18. Mismunur á vinddætt á mælistöðum og veðurstöð Vg. Staðsetning er mæld frá suðri til norðurs, þ.e. frá mælípunkti nr. 112 til 101.

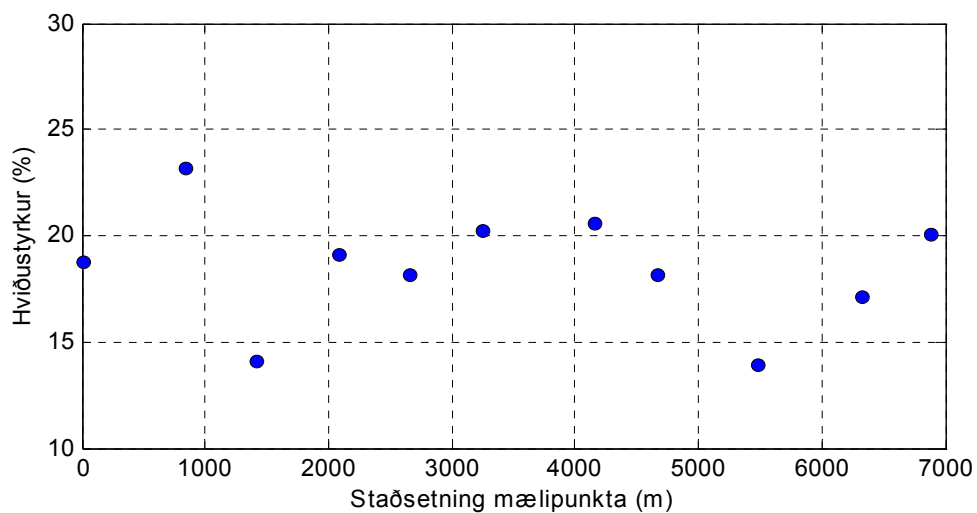


Mynd 19. Hlutfall meðal- og hágildisvindhraða á mælistöðvum og samskonar samtíma mæligilda á veðurstöð Vg. Staðsetning er mæld frá suðri til norðurs, þ.e. frá mælípunkti nr. 112 til 101.

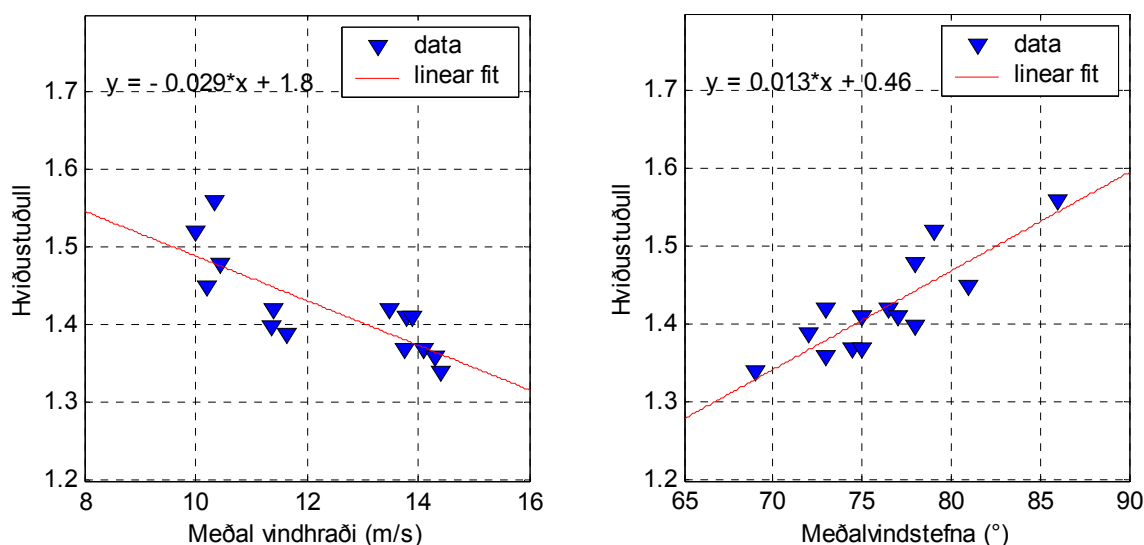
Hviðustyrkur við veginn var allsstaðar hár, eða á bilinu 15% til rúmlega 20%. Athygli vekur að hviðustyrkurinn á mynd 21 sýnir svipaða dreifingu með staðsetningu og mismunavinddættin á Mynd 18. Það bendir til þess að lögun fjallsins hafi veruleg áhrif á hviðustyrkinn. Mynd 22 sýnir hvernig hviðustuðullinn við Veðurstöð Vg var að breytast með vinddætt og vindhraða á meðan mælingarnar stóðu yfir. Ekki er gott að fullyrða um hvor breytan er ráðandi varðandi breytinguna, líklegast er að báðar hafi þar nokkur áhrif.



Mynd 20. Hlutfall hviðustuðulls á mælistöðvum og samtíma hviðustuðulls á veðurstöð Vg. Staðsetning er mæld frá suðri til norðurs, þ.e. frá mælipunkti nr. 112 til 101.

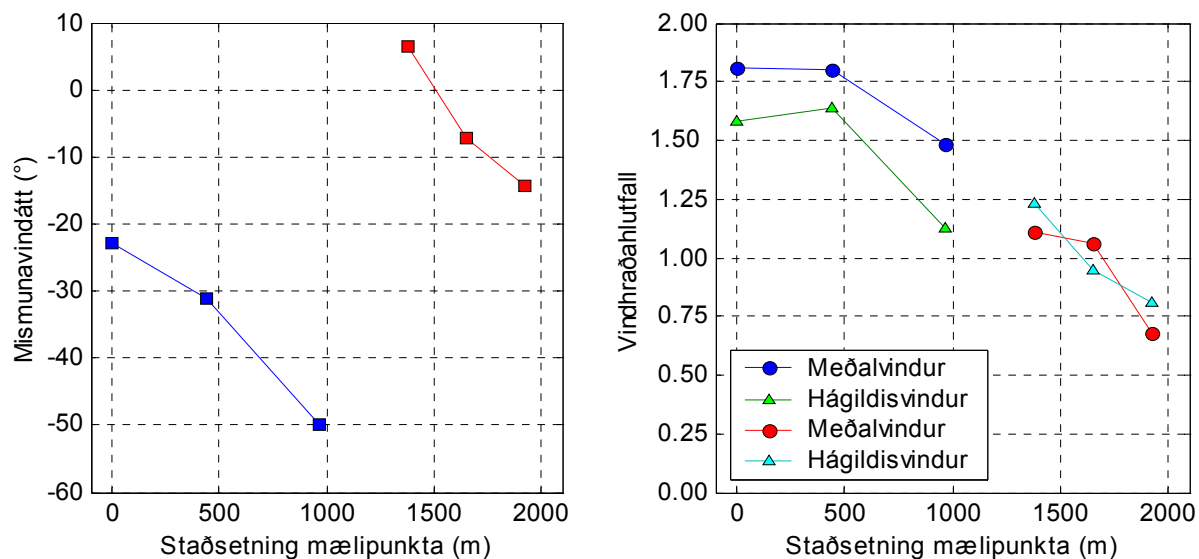


Mynd 21. Hviðustyrkur á mælistöðvum. Staðsetning er mæld frá suðri til norðurs, þ.e. frá mælipunkti nr. 112 til 101.

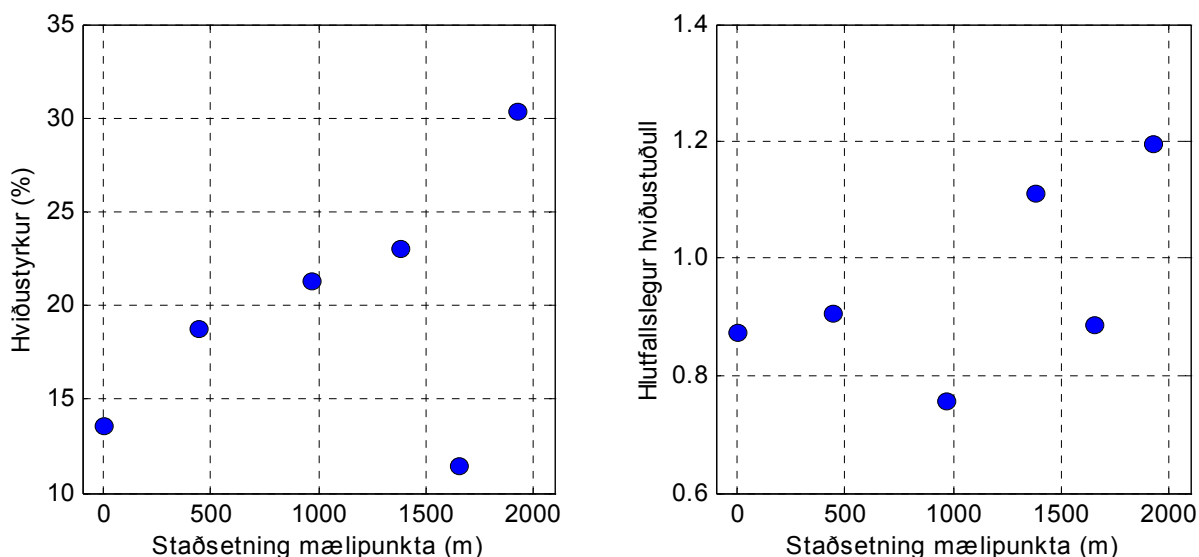


Mynd 22. Hviðustuðull á veðurstöð Vg sem fall af meðalvindhraða og meðalvindstefnu.

Mælingarnar utan vegar, það er á þremur stöðum á afleggjaranum að Höfn og þremur stöðum á afleggjaranum að Ölveri (sjá mynd 17), eru skoðaðar með sambærilegum hætti. Niðurstöðurnar má sjá á myndum 23 og 24. Staðsetningar mælistaða eru mældar frá Ölveri til vesturs og er því staðsetning 0-100 á Ölversafleggjaranum (punktar 206-204) en staðsetning 180-280 á afleggjaranum að Höfn (punktar 203-201). Eins og áður hafði komið fram, þá er vindstefnan á Ölversafleggjaranum töluvert önnur en á veðurstöð Vg, vegna þess hvernig Hafnardalurinn og þverdalir hans sem liggja norður-suður stýra vindinum við fjallið sunnanvert. Hins vegar er vindstefnan á afleggjaranum að Höfn svipuð vindstefnunni við veðurstöð Vg. Jafnframt sést að vindhraðinn var töluvert meiri á Ölversafleggjaranum heldur en á veðurstöð Vg, en hins vegar virðist vindhraðinn lækka eftir því sem nær dregur Höfn.



Mynd 23. (a) Mismunur vindáttá á mælistöðum utan vegar og veðurstöð Vg. (b) Hlutfall meðal- og hágildisvindhraða á mælistöðvum utan vegar og samskonar samtíma mæligilda á veðurstöð Vg. Staðsetning er mæld frá Ölveri og vestur að Höfn.

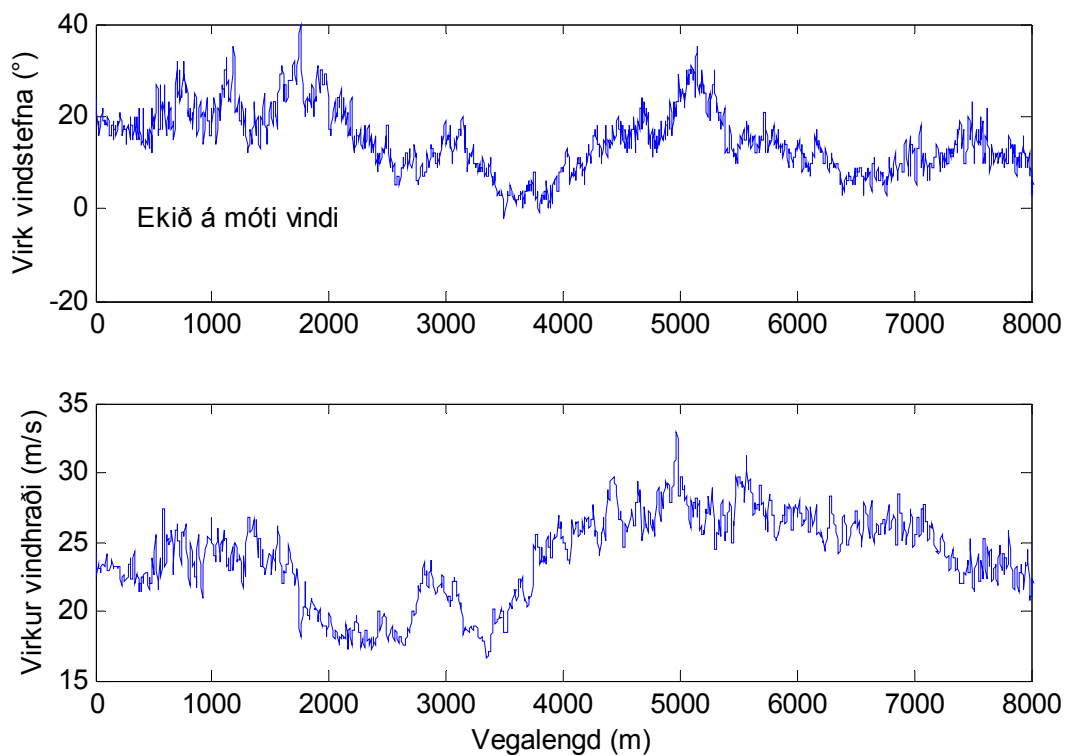


Mynd 24. (a) Hviðustyrkur á mælistöðum utan vegar. (b) Hlutfall hviðustuðuls á mælistöðvum utan vegar og samtíma hviðustuðuls á veðurstöð Vg. Staðsetning er mæld frá Ölveri og vestur að Höfn.

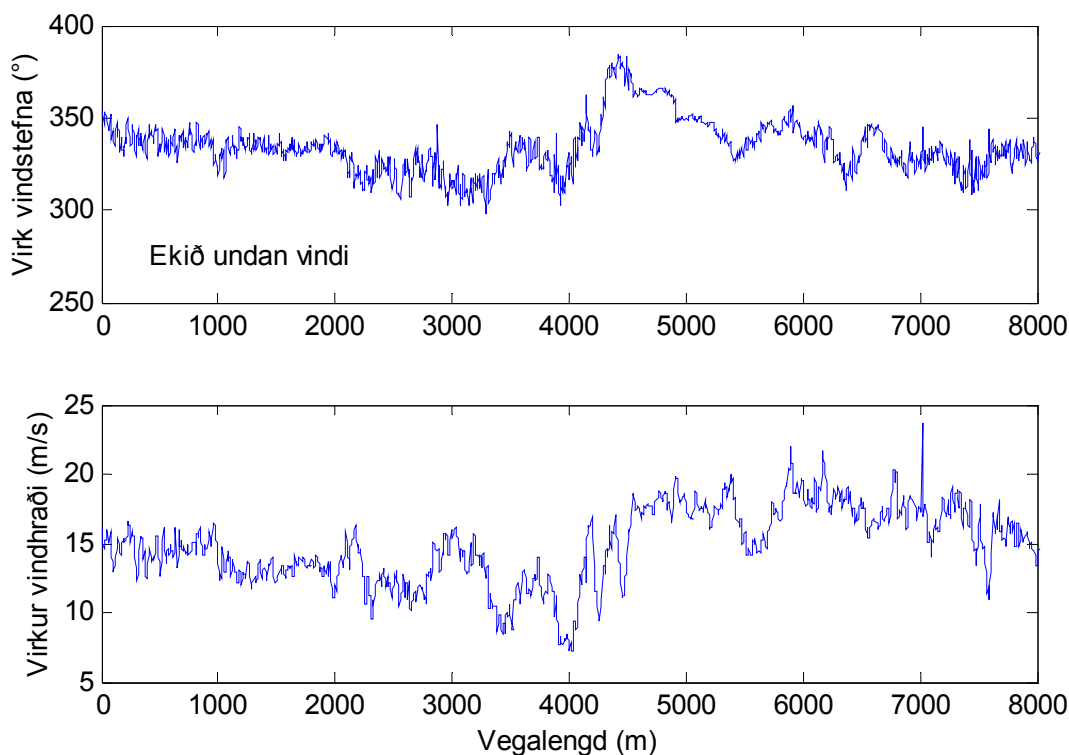
Hlutfall hviðustuðuls á umræddum afleggjurum og hviðustuðuls á veðurstöð Vg fylgir greinilega nokkurn veginn vindhraðagildunum á hvorum stað. Þar sem er hærri vindhraði þar er lægri hviðustuðull. Það sama má reyndar segja um hviðustyrkinn, ef frá er talinn mælipunktur 202, þar sem hviðustyrkurinn er af einhverjum ástæðum frekar lágur.

Til viðbótar þessum staðbundnu mælingum var gerð akstursmæling, þ.e. mælt var á keyrslu annars vegar með og hins vegar undan vindi. Reynt var að aka á sem jöfnustum hraða u.þ.b. 60 km/klst. Með þessu móti er hægt að mæla þann vind sem raunverulega verkar á ökutækið, þ.e. virka vindstefnu (ϕ) og virkan vindhraða (V_r) sbr. jöfnu 16 í kafla 2. Niðurstöðurnar eru sýndar á Myndum 25 og 26. Þær sýna tvö mismunandi tilfelli, þ.e. annars vegar þegar ekið er á móti vindi til norðurs (Mynd 25) og hins vegar þegar ekið er undan vindi til suðurs (Mynd 26).

Eins og sjá má eru aðstæður töluvert ólíkar eftir því í hvora áttina ekið er. Þegar ekið er á móti vindi þá er vindstefnan á bilinu $0^\circ - 40^\circ$ (0° er beint á móti akstursstefnu), og vindhraðinn á bilinu 17 til 34 m/s. Hins vegar þegar ekið er undan vindi þá er vindáttin á bilinu $300^\circ - 380^\circ$, þ.e. vindurinn blæs aftan á bílinn, og vindhraðinn er að jafnaði á bilinu 10 til 20 m/s. Greinilegt er að fyrir bæði tilfellin þá verður ákveðinn breyting á vindstefnu og vindhraða í kringum 4.000 m, þ.e. miðja vegu leiðarinnar. Hins vegar er kritískasti staðurinn í þessu tilfelli í kringum 5.000 m frá syðri enda þegar ekið er á móti vindi. Áhugavert væri að gera fleiri kerfisbundnar mælingar af þessu tagi, þar sem reynt yrði að ná fram og kortleggja varasamar aðstæður.



Mynd 25. Lagt af stað u.þ.b. 3,3 km sunnan við veðurstöð Vegagerðarinnar og keyrt norður að áningarstað á jöfnum hraða (62 km/klst).



Mynd 26. Lagt af stað frá áningarstað og keyrt u.þ.b. 3,3 km suður fyrir veðurstöð Vegagerðarinnar á jöfnum hraða (62 km/klst.).

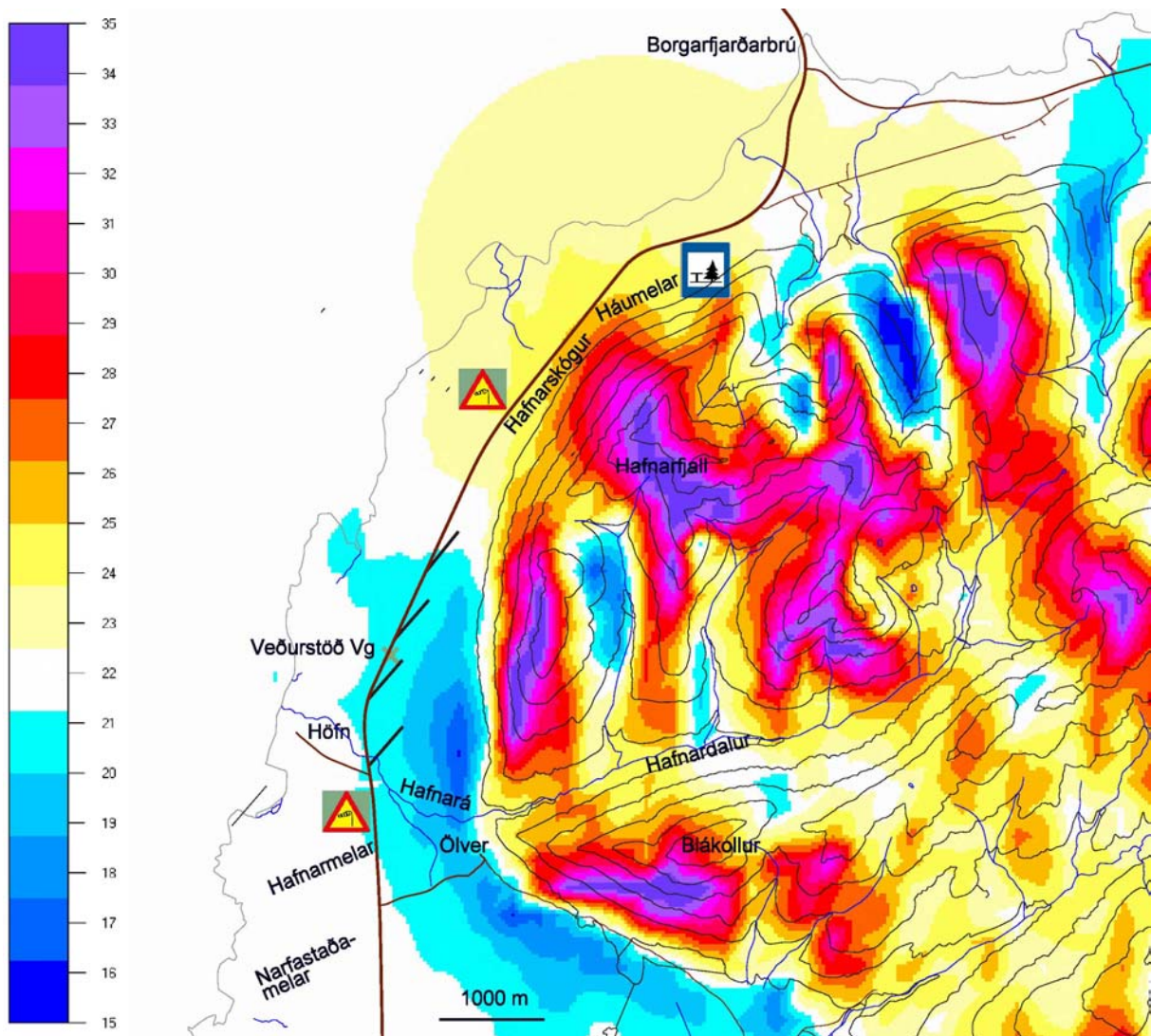
4.5 VINDHERMANIR VIÐ HAFNARFJALL

Gerðar voru tölvuhermanir af vindstreymi yfir Hafnarfjall fyrir þær vindáttir sem áhugaverðar þykja.

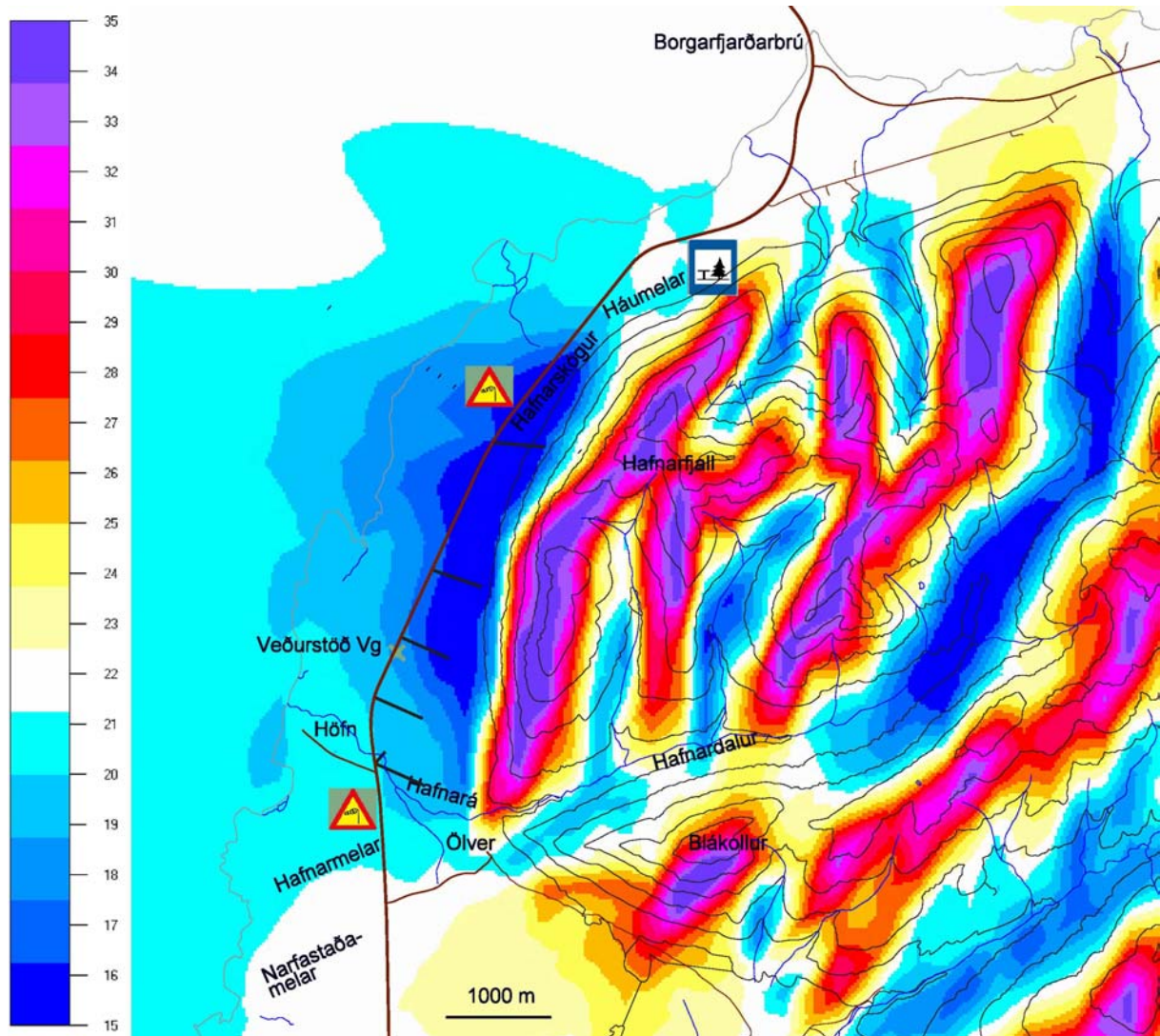
Hermun fyrir NA-átt sýnir allt að 20 % aukningu í vindhraða á kafla vegarins í Hafnarskógi (mynd 27).

Vindhermun fyrir ASA-átt gefur til kynna að reiknaður meðalvindhraði á þjóðveginum er allt að 30 % lægri en þar sem áhrifa fjallsins gæti síður (mynd 28). Á mynd 29 sést hins vegar nokkur hækkun á hviðustyrk á Hafnarmelum við veðurstöð Vg og í Hafnarskógi. Þessar niðurstöður er athyglisverðar í ljósi þess að slys í ASA-átt urðu öll þegar tíu mínútna meðalvindhraði var lægri en 20 m/s en hæsta hviða aftur á móti mjög há miðað við það sem gerist í NA átt.

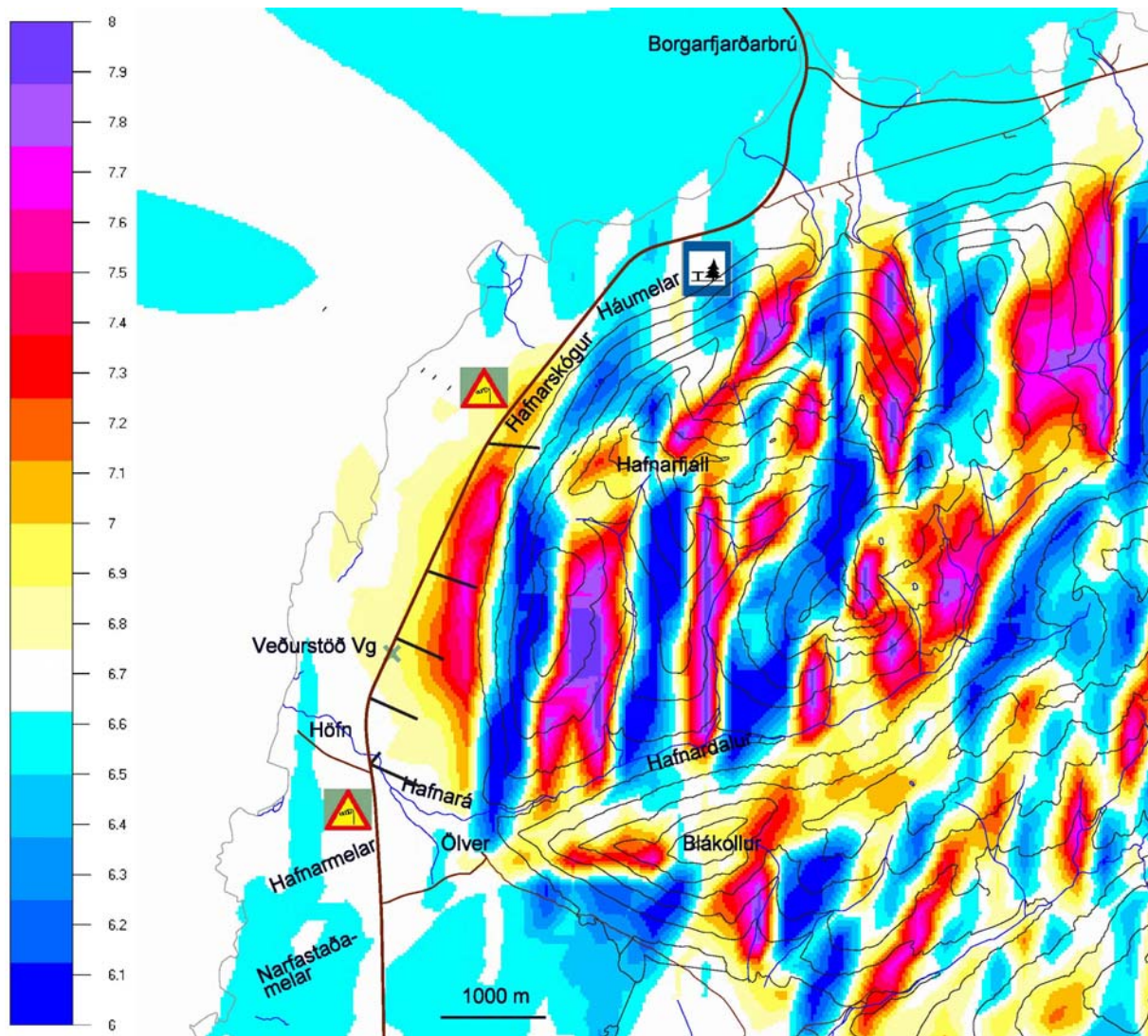
Hér hafa aðeins verið birtar niðurstöður fyrir tvær dæmigerðar vindáttir sem valda hættu við við Hafnarfjall. Vindhermunun byggir á meðalvindhraða, sem felur í sér að áhrif iðustreymis (turbulence) og eru nálgðuð með s.k. k - ϵ líkani, sem leggur til aukna seigju í loftmassann þar sem iðustreymi er mikið, en slíkt veldur orkutapi í streyminu. Þetta veldur því að reiknaður meðalvindhraði verður lægri á svæðum með miklu iðustreymi, líkt og mynd 28 gefur til kynna. Þannig er æskilegt að skoða samhliða niðurstöður fyrir reiknaðan meðalvindhraða og reiknaðan hviðustyrk til þess að meta heildarástand. Bent skal á að reiknilíkanið tekur ekki tillit til hitastiguls með hæð, og því er líklegt að vindhraði hlémegin fjalla sé vanmetinn fyrir þau tilfelli þegar loft er stöðugt.



Mynd 27. Reiknaður vindhraði við Hafnarfjall fyrir háloftavind í stefnu 55°, NA átt. Svört strik sýna reiknaða vindstefnu við veg. Litakvarði gefur reiknaðan vindhraða í m/s.



Mynd 28. Reiknaður vindhraði við Hafnarfjall fyrir háloftavind í stefnu 110°, ASA átt. Svört strik sýna reiknaða vindstefnu við veg. Litakvarði gefur reiknaðan vindhraða í m/s.



Mynd 29. Reiknaður hviðustyrkur við Hafnarfjall fyrir háloftavind í stefnu 110°, ASA átt. Talnakvarði gefur vísbendingu um hlutfallslegan mun og táknað ekki hviðustuðul.

5 Umræða

5.1 SKOÐUN NIÐURSTAÐNA

Það kemur ekki á óvart að flest slysanna hafa orðið við aðstæður þar sem vegur er blautur, eða á hálfu- og snjófæri. Þetta endurspeglar þá athugun á samhengi milli veggrips og vindsvörunar sem gerð var í kafla 2.4.

Vindaslys í safninu eru tiltölulega fá, og því er tölfraðileg greining á samhengi þeirra atriða sem skráð eru því sem næst gagnslaus. Á hinn bóginn er forvitnilegt að velja niðurstöðunum fyrir sér. Hár hviðustuðull felur í sér að mikill munur er á hæsta og lágsta vindhraða sem skráður er á 10 mín. bili, og jafnframt að nokkur tími getur liðið á milli sterkra hviða. Við slíkar aðstæður er því óhætt að segja að hviður komi öikumönnum meira að óvörum en þegar hviðustuðull er lægri. Ökumaður hefur þá hugsanlega valið ökuhraða sem hann telur öruggan m.v. þær aðstæður sem ríkja á aðlægum vegarkafli, þar sem minni munur er á hæstu og

lægstu hviðu en undir fjallinu. Þannig getur hugsanlega komið upp sú staða á blautum vegi að ekkert hliðarviðnám sé til aflögu þegar sterk hviða skellur á ökutækinu, og það missir veggrip.

Skoðun gagna úr veðurstöð, bæði fyrir þau augnablik sem slys hafa orðið og almenn greining á mælingum í kafla 4.2 staðfestir að hæstu hviður og hæstu hviðustuðlar eru skráðir í ASA átt. Engu að síður eru NA áttir einnig varasamar við Hafnarfjall eins og dæmin sanna. Vindhermanirnar gefa einnig til kynna háan hviðustuðul við Hafnarmela í ASA átt, en tiltölulega lágan meðalvindhraða. Þau fjögur slys sem skráð eru í ASA átt urðu öll við meðalvindhraða undir 20 m/s, en meðalvindhraði þegar slys urðu í NA átt var í 5 skipti yfir 20 m/s.

5.2 TILLÖGUR TIL ÚRBÓTA

Vöktun, upplýsingagjöf, umferðarstýring

Hér að ofan hefur verið fjallað um samhengi færðar, vindstyrks og líkur á slysum. Höfundar telja líklegt að fækka megi vindatengdum slysum ef viðvaranir taka einnig mið af færð, þ.e. væntanlegum viðnámsstuðli vegyfirborðs auk upplýsinga um meðalvindhraða og hviðu. Hugsanlega kæmi einnig að gagni ef hviðustuðull yrði einnig birtur. Þetta krefðist breytinga á þeim upplýsingaskiltum sem nú eru í notkun. Erlendis tíðkast á sumum stöðum að breyta skiltuðum hámarkshraða eftir aðstæðum og er það atriði sem einnig mætti taka til athugunar.

Í dag eru upplýsingatöflur sem sýna meðalvindhraða á umræddum vegarkafla. Þegar hraði vindhviðu fer yfir 20 m/s sýna skiltin hviðustyrkinn með rauðu lettri. Þessi tegund upplýsinga krefst þess að ökumaður hafi kunnáttu til að setja þær í samhengi við aðstæður, þ.e. að túlka uppgefinn hviðustyrk og að meta færð (sem ekki er gefin upp á upplýsingaskiltum í dag). Bæta mætti upplýsingagjöfina á þá leið að taka einnig mið af væntanlegu veggripi (færð). Þannig mætti flokka aðstæður t.d. í þrjá hættuflokka með því að meta samanlögð áhrif vinds og færðar (Tafla 5). Slíkt kerfi endurspeglar í raun upplýsingar úr mynd 5 að hluta til.

Tafla 5. Dæmi um flokkun hættustigs sem tekur mið af áhrifum vinds og færðar. Stig 1 felur í sér nokkra hættu fyrir óstöðug ökutæki, stig 2 felur í sér nokkra hættu fyrir flest ökutæki og umtalsverða hættu fyrir óstöðug ökutæki og stig 3 felur í sér umtalsverða hættu fyrir öll ökutæki.

Færð	Hviðuhraði (m/s)			
	20-25	25-30	30-35	35+
Autt/þurrt	1	1	2	3
Autt/blautt	2	2	3	3
Hálkublettir	2	3	3	3
Hált	3	3	3	3

Jafnframt er æskilegt að ökumenn fái upplýsingar um það í hverju viðbrögð þeirra við slíkum viðvörðunum ættu að felast, t.d. að lækka ökuhraða, að aka á jöfnum hraða og forðast að bremsa snögg þó að hviður skelli á ökutæki, að hafa mikið bil á milli ökutækja, að forðast framúrakstur í lengstu lög o.s.frv., og yfirleitt að meta það hvort ástand ökutækis réttlætir það að ekið sé um svæðið við gefnar aðstæður. Þá er hugsanlegt að Vegagerðin og lögregla hafi sérstakan viðbúnað við vaxandi hættustig, t.d. eftirlit með ástandi ökutækja og frágangi farms eða að tekin verði upp umferðarstýring, t.d. að loka fyrir umferð óstöðugra ökutækja ef talin er hættu á að öðrum vegfarendum stafi hættu af þeim.

Skjólbeltarækt, vindskermar

Áhættusamasti kafli vegarins við Hafnarfjall, sem merktur er með viðvörðunarskiltum í báða enda er um 4 km langur. Það er augljóst að hvers konar aðgerðir til þess að skapa skjól á veginum eru því umfangsmiklar og dýrar. Líklegt er að ná megi árangri með skjólbeltarækt, en vegna þess að ungar trjáplöntur eiga erfitt uppdráttar í svo vindasömum stað þyrfti væntanlega annars konar skjólmyndun a.m.k. á meðan trjáplöntur eru ungar og veikburða. Þessu mætti koma í kring með t.d. jarðvegsmönnum eða skjólgirðingum. Til þess að hámarks árangur náist af slíkum aðgerðum þyrfti að staðsetja trjábelti og hugsanleg önnur skjólvirki á markvissan hátt með því að taka mið af því hvernig mikilvægustu vindáttir hafa breytilegt aðfallshorn á veginn, vegna mismunandi stefnu vegar og vegna áhrifa fjallsins. Þannig mætti líklega ná góðum árangri með því að rækta upp belti með mismunandi stefnu og fjarlægð frá vegi, og helst að sjá til þess að í mikilvægustu vindáttum ferðist vindur ætíð í gegnum fleiri en eitt skjólbelti áður en veginum er náð [35]. Brýnt er að skjólbelti standi ekki of nærri vegi vegna hættu á snjósöfnun í skafrenningi. Einnig má benda á að með skafrenning í huga og þá vitneskju að vindurinn rennur oftast með fjallinu úr norðaustri eða suðaustri, þá gæti verið hentugt að skjólbeltin lægju skáhallt á veginn frekar en samsíða honum.

Stefnt er að því að betri niðurstöður liggi til grundavallar fyrir skipulag skjólvirkja og trjágróðurs eftir næsta áfanga verkefnisins.

Umhverfi vegar

Viðast hvar er öryggissvæði vegarins með því móti að útafakstur ætti ekki að hafa alvarleg slys í för með sér. Vegarkafllinn frá gatnamótum við Höfn og suður úr, allt suður að Fiskilæk hefur nú þegar verið tekinn í gegn m.t.t. til öryggis við útafakstur og útbúinn með aflíðandi vegfláum og grennd vegarins er laus við meiriháttar hindranir. Hins vegar eru staðir á veginum frá Höfn og norður úr sem nauðsynlegt er að skoða m.t.t. útafaksturs. Sérstaklega er brýnt að útafakstri vinstra megin á norðurleið sé gefinn gaumur, eins og vindaslysin sýna.

Nýlega vegar

Áður en athuganir á færslu vegar koma til, þurfa að liggja fyrir umfangsmiklar rannsóknir á vindafari á staðnum. Með markvissri staðsetningu mælitækja sem þyrftu að safna göngum í talsverðan tíma væri hægt að kortleggja á nákvæman hátt útbreiðslu staðbundinna vindáhrifa sem gætir vegna landslags. Til samanburðar þyrfti að liggja fyrir mat á væntanlegum árangri af öðrum aðgerðum, s.s. skjólmyndun á núverandi vegi eða áhrif af endurskoðuðu upplýsinga- og umferðarstýringarkerfi á umferðaröryggi.

5.3 NÆSTU SKREF

Æskilegt er að greina betur aðstæður undir Hafnarfjalli, svo að fá megi betri yfirsýn yfir hugsanlegar leiðir til úrbóta. Í framhaldi verkefnisins er ráðgert að framkvæma fleiri mælingar á veginum við viðeigandi aðstæður og jafnframt að mæla í nágrenni hans. Þessar mælingar verða m.a. nýttar til þess að yfirfara og staðfesta gæði frekari tölvuhermana sem ætlunin er framkvæma. Þannig má meta hvort og hvernig hægt er að nýta niðurstöður slíkra hermana til þess að kanna hugsanlegar mótvægisáðgerðir.

Í framhaldi er stefnt að því að bæta við athugunarstöðum með það fyrir augum að fjölga þeim slysum í gagnagrunninum sem tengjast vindaðstæðum. Þannig að afla megi áreiðanlegri

upplýsinga um samband vinds, færðar og umferðarslysa. Þannig gefst tækifæri til betri greiningar á ýmsum áhrifaþáttum.

6 Þakkir

Höfundar þakka Rannsóknarráði umferðaröryggismála sem styrkti verkefnið. Þá þökkum við lögreglunni í Borgarnesi fyrir gagnlegar upplýsingar um aðstæður við Hafnarfjall. Slys- og ökutækjagögn sem notuð voru í verkefninu voru fengin frá Umferðarstofu.

Heimildir

1. Ágúst Mogensen, Útafakstur í dreifbýli, Rannsóknarnefnd umferðarslysa, Sérarit nr. 2, Reykjavík (2002).
2. Haraldur Sigþórsson og Stefán Agnar Finnsson, Samband veðurfars og umferðaröryggis á Reykjanesbraut. Skýrsla unnin fyrir Vegagerðina (1996).
3. Ragnar Sigbjörnsson and Jónas Þór Snæbjörnsson, 1998, “Probabilistic Assessment of Wind Related Accidents of Road Vehicles: A Reliability Approach”, *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 74-76, pp. 1079-1090, Elsevier.
4. Ragnar Sigbjörnsson og Jónas Þór Snæbjörnsson, 1998, “vindurinn er „undarlega skapaður“”, Á vatnaskilum, Háskólaútgáfan, Reykjavík 1998, pp. 83-95.
5. Jónas Þór Snæbjörnsson and Ragnar Sigbjörnsson, 1992, “Wind Structure over Post glacial Lava Surface”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 41-44 pp. 305-315, Elsevier.
6. Jónas Þór Snæbjörnsson, Gunnar I. Baldvinsson og Ragnar Sigbjörnsson: “Samanburður á vindafari við Þingeyrarflugvöll, Ísafjarðarflugvöll og Sveinseyri”, Verkfræðistofnun Háskóla Íslands, skýrsla nr. 95005, Reykjavík 1995, 87 pp.
7. J. B. Edwards, The Relationship Between Road Accident Severity and Recorded Weather, *Journal of Safety Research*, Volume 29, Issue 4, Winter 1998, Pages 249-262.
8. J. B Edwards, Weather-related road accidents in England and Wales: a spatial analysis, *Journal of Transport Geography*, Volume 4, Issue 3, September 1996, Pages 201-212.
9. J. B. Edwards, Wind-related road accidents in England and Wales 1980-1990, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 52, May 1994, Pages 293-303.
10. A. Perry and L. Symons, The wind hazard in the British isles and its effects on transportation, *Journal of Transport Geography*, Volume 2, Issue 2, June 1994, Pages 122-130.
11. A. Perry and L. Symons, The wind hazard in Great Britain and its effects on road and air transport, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 52, May 1994, Pages 29-41.
12. S. A. Colman & C. J. Baker: An experimental study of the aerodynamic behaviour of high sided lorries in cross winds, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 53 (3), 1994.
13. S. A. Coleman and C. J. Baker, The reduction of accident risk for high sided road vehicles in cross winds, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 44 (1-3), October 1992, Pages 2685-2695.
14. S. A. Coleman & C. J. Baker: High sided road vehicles in cross wind, *J. of Wind Eng. and Ind. Aerodynamics*, 36 (2), 1990.
15. C. J. Baker: The quantification of accident risk for road vehicles in cross wind, *J. of Wind Eng. and Ind. Aerodyn.*, 52, 1994.
16. C. J. Baker: Ground vehicles in high cross winds - Part I: Steady aerodynamic forces - Part II: Unsteady aerodynamic forces - Part III: The interaction of aerodynamic forces and the vehicles system. *Journal of Fluid and Structures*, 5, 1991.
17. C. J. Baker and C. G. Robinson, The assessment of wind tunnel testing techniques for ground vehicles in cross winds, *J. of Wind Eng. and Ind. Aerodynamics*, 33 (1-2), March 1990, Pages 429-438.

18. C. J. Baker: High sided articulated vehicles in strong cross winds, *J. of Wind Eng. and Ind. Aerodynamics*, 31 (1), 1988.
19. C. J. Baker: Measures to control vehicles movements at exposed sites during windy periods, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 25 (2), 1987.
20. C. J. Baker: A simple analysis of various types of wind-induced road vehicle accidents, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 22 (1), 1986.
21. C. Kramer, R. Grundmann & H. Gerhardt: Testing of road vehicles under cross wind, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 38 (1), 1991.
22. J. Bettle, A. G. L. Holloway and J. E. S. Venart, A computational study of the aerodynamic forces acting on a tractor-trailer vehicle on a bridge in cross-wind, *J. of Wind Eng. and Ind. Aerodynamics*, 91 (5), April 2003, Pages 573-592.
23. S. Watkins, J.W. Saunders & P. H. Hoffmann: Turbulence experienced by moving vehicles - Part I: Introduction and turbulence intensity, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 57 (1), 1995.
24. H. Soma, Dynamics of drivers' steering behavior under lateral wind disturbance using natural wind on real road, *JSAE Review*, Vol 17, Issue 4, Oct. 1996.
25. US Dept. of Transportation. Advanced Rural Transportation Systems (ARTS) CD-ROM (Publication No. FHWA-OP-01-014)
26. Heimasíða TTK í Japan. <http://www.ttk-sendai.co.jp>
27. Alexander Robertson og Þröstur Eysteinnsson, 2002. Íslenska fléttan. *Skógræktarritið*, 2.tbl, 2002. Skógræktarfélag Íslands, Reykjavík.
28. S. Nelmes, R.E.Belcher, C.J.Wood, A method for routine characterisation of shelterbelts, *Agricultural and Forest Meteorology*, 106 (2001) 303–315.
29. Torgeir Leland, 1996. *Friksjon mellom et gummihjul og vegdekket*. Institutt for veg- og jernbanebygging NTNU, notat nr.977, Trondheim.
30. Torgeir Leland, 1994. *Vinterdrift*. Institutt for veg- og jernbanebygging NTH, notat nr.888, Trondheim.
31. Gagnasafn Morgunblaðsins, 2000. *Góður árangur af uppgræðslu við Hafnarfjall*. Grein frá 21. október 2000.
32. Vefur Vegagerðarinnar: http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/pages/ferdaupplýsingar_index.html.
33. Thomas D. Gillespie, 1992. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Society of Automotive Engineers Inc., Warrendale.
34. Auður Þóra Árnadóttir, 2003. *Áhrif Hvalfjarðarganga á umferðaröryggi*. Ágrip af erindi flutt á 2. ráðstefnu um rannsóknir Vegagerðarinnar, 7. nóvember 2003.
35. U. Boldes, J. Colman and J. Marañon Di Leo, Field study of the flow behind single and double row herbaceous windbreaks, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Volume 89, Issues 7-8, June 2001, Pages 665-687.
36. B. Thagesen: Lærebog i vejbygning, Bind 1, Polyteknisk Forlag, Denmark 1991.
37. Flogið yfir Ísland, 2. útgáfa. Landmælingar Íslands 2002.
38. AASHTO: A policy on geometrical design of highways and streets, American Association of State and Transportation Officials, Washington D.C., 1994.