



ÁHRIF VINDS Á FARARTÆKI

Rannsóknarverkefni styrkt af rannsóknarsjóði Vegagerðarinnar

31.03.2020



SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ

SKJALALYKILL

2970-316-SKY-001-V01

SKÝRSLUNÚMÉR / SÍÐUFJÖLDI

01/34

VERKEFNISSTJÓRI / FULLTRÚI VERKKAUPA

Bjarni Már Gauksson

VERKEFNISSTJÓRI EFLA

Magnús Arason

LYKILORÐ

Vindur, vindhviða, farartæki, slys, öryggi, vegaðstæður, líkan

STAÐA SKÝRSLU

- Drög
 Drög til yfirlstrar
 Lokið

DREIFING

- Opin
 Dreifing með leyfi verkkaupa
 Trúnaðarmál

TITILL SKÝRSLU

Áhrif vinds á farartæki

VERKHEITI

Áhrif vinds á farartæki

VERKKAUPI

Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar

HÖFUNDUR

Erla Hrafnkelsdóttir

ÚTDRÁTTUR

Árlega eiga sér stað umferðarslys á Íslandi sem rekja má að nokkru eða öllu leyti til vindaáhrifa. Á tímum loftslagsbreytinga má álykta að öfgar í veðurfari muni fara stigmagnandi. Því er mikilvægt að hafa í höndum tól sem hjálpar til við að sporna gegn alvarlegum slysum vegna veðurs og vinda – tól sem metur hvenær öruggt er að ferðast og hvenær ekki. Markmið þessa verkefnis er að útbúa einfalt líkan sem metur hvers lags vindaðstæður eru hættulegar ökutækjum. Vindaðstæður eru þá vindhraði og vindstefna miðað við legu vegar. Önnur atriði sem tekin eru til greina í líkaninu eru vegaðstæður, hraði ökutækis og tegund þess. Ökutækjum er skipt í þrjá flokka miðað við stærð og þyngd: smárútur, tómar og hálf tómar rútur og flutningabílar og fullar eða fulllestaðar rútur og flutningabílar. Líkanið byggir á heimildum, útreikningum og upplýsingum sem þegar eru til um þessi fræði og er ætlað til þess að hjálpa Vegagerðinni að ákveða hvenær skal loka vegum vegna veðurs. Þessi skýrsla lýsir upplýsingaöfluninni, útreikningum og þróun líkansins. Einnig er líkanið prófað fyrir raunveruleg slys og uppsetningu notendaviðmóts lýst. Að lokum eru settar fram tillögur að framhaldi þessa mikilvæga verkefnis.

ÚTGÁFUSAGA

NR.	HÖFUNDUR	DAGS.	RÝNT	DAGS.	SAMÞYKKT	DAGS.
01	Erla Hrafnkelsdóttir	30.03.2020	Magnús Arason	30.03.2020	Magnús Arason	31.03.2020
02	Erla Hrafnkelsdóttir	31.03.2020	Baldvin Einarsson	31.03.2020	Magnús Arason	31.03.2020

SAMANTEKT

Árlega eiga sér stað umferðarslys á Íslandi sem rekja má að nokkru eða öllu leyti til vindaáhrifa. Á tímum loftslagsbreytinga má álykta að öfgar í veðurfari muni fara stigmagnandi. Því er mikilvægt að hafa í höndum tól sem hjálpar til við að sporna gegn alvarlegum slysum vegna veðurs og vinda – tól sem metur hvenær öruggt er að ferðast og hvenær ekki. Markmið þessa verkefnis er að útbúa einfalt líkan sem metur hvers lags vindaðstæður eru hættulegar ökutækjum. Vindaðstæður eru þá vindhraði og vindstefna miðað við legu vegar. Önnur atriði sem tekin eru til greina í líkaninu eru vegaðstæður, hraði ökutækis og tegund þess. Ökutækjum er skipt í þrjá flokka miðað við stærð og þyngd: smárútur, tómar og hálfatómar rútur og flutningabílar og fullar eða fulllestaðar rútur og flutningabílar. Líkanið byggir á heimildum, útreikningum og upplýsingum sem þegar eru til um þessi fræði og er ætlað til þess að hjálpa Vegagerðinni að ákveða hvenær skal loka vegum vegna veðurs. Þessi skýrsla lýsir upplýsingaöfluninni, útreikningum og þróun líkansins. Einnig er líkanið prófað fyrir raunveruleg slys og uppsetningu notendaviðmóts lýst. Að lokum eru settar fram tillögur að framhaldi þessa mikilvæga verkefnis.

EFNISYFIRLIT

SAMANTEKT	5
1 INNGANGUR	11
2 UPPLÝSINGAÖFLUN	12
2.1 Helstu rannsóknir	12
3 ÚTREIKNINGAR	14
3.1 Kraftar og vægi	14
3.2 Slysajöfnur	16
3.3 Loftaflfræðilegir formstuðlar	17
4 ÞRÓUN REIKNILÍKANS	20
4.1 Flokkar og inntakspættir	20
4.1.1 Flokkar farartækja	20
4.1.2 Vegaðstæður	21
4.1.3 Hraði farartækja	21
4.2 Uppsetning líkans	21
4.3 Notendaviðmót	24
5 GREINING ÞEKKTRA SLYSATILFELLA MEÐ LÍKANI	26
5.1 Rútuslys á Kjalarnesi	26
5.2 Rútuslys á Hellsheiði	28
6 TILLÖGUR AÐ FRAMHALDI	31
7 HEIMILDASKRÁ	33

MYNDASKRÁ

MYND 1	Á þessari mynd má sjá mál farartækis, kraftana sem verka við veg og loftstreymiskrafta- og vægi sem verka vegna vinds. Hnitakerfið snýr þannig að x-ás er í akstursstefnu farartækisins, y-ás er í stefnu þvert á veg og z-ás í lóðrétta stefnu [6]. _____	14
MYND 2	Hér má sjá farartæki á ferð í vindi. Hraði og stefna bílsins er táknuð með v , hraði og stefna vindsins táknuð með w og virkur hraði og stefna vindsins, hraði hans og stefna miðað við hraða farartækis, táknuð með V [6]. _____	15
MYND 3	Hér má sjá slysategundirnar þrjár sem eiga sér stað vegna vinds. Farartæki veltur (<i>e. rollover</i>), rennur (<i>e. sideslip</i>) eða snýst (<i>e. rotation</i>) [6]. _____	16
MYND 4	Loftaflfræðilegir formstuðlar fyrir smárútur. Stuðlunum er lýst með vindhorninu sem myndast miðað við farartæki, þar sem 0° eru vindur beint framan á farartæki og 90° vindur þvert á hlið farartækis. _____	19
MYND 5	Loftaflfræðilegir formstuðlar fyrir rútur og flutningabíla. Stuðlunum er lýst með vindhorninu sem myndast miðað við farartæki, þar sem 0° eru vindur beint framan á farartæki og 90° vindur þvert á hlið farartækis. _____	19
MYND 6	Dæmi um niðurstöður úr líkani. Hér má sjá niðurstöður fyrir smárútur á hraðanum 90 km/klst þar sem vegaðstæður eru blautar ($\mu = 0,5$). Vindhviða er í 22 m/s og vindstefnan á bilinu 33,75 - 56,25°, sem gæti t.a.m. verið þar sem vegur er í N-átt og vindur í NA-átt. Niðurstöðurnar gefa að þessar aðstæður eigi að vera öruggar. _____	23
MYND 7	Dæmi um niðurstöður úr líkani. Hér má sjá niðurstöður fyrir fullar rútur og fulllestaða flutningabíla á hraðanum 80 km/klst þar sem vegaðstæðum er lýst sem þjöppuðum snjó ($\mu = 0,2$). Vindhviða er í 26 m/s og vindstefnan á bilinu 56,25 - 78,75°, sem gæti t.a.m. verið þar sem vegur er í V-átt og vindur í NNV-átt. Niðurstöðurnar gefa að þessar aðstæður eigi að vera hættulegar og að slys gæti átt sér stað. _____	23
MYND 8	Hér má sjá upphafssiðu vefviðmóts líkansins fyrir áhrif vinds á farartæki. Inntakspættirnir sem notandi slær inn eru í efra vinstra horninu, þar við hlið leiðbeiningar fyrir notanda og svo tóm líkөн þar fyrir neðan. _____	25
MYND 9	Hér má sjá vefviðmót líkansins þegar búið er að keyra það með inntakspáttunum í efra vinstra horninu. Dæmið á skjáskotinu sýnir að aðstæður eru á hættusvæði fyrir smárútur og tómar/hálftómar rútur og flutningabíla. Fullar rútur og fulllestaðir flutningabílar lenda á örugga svæðinu. _____	25
MYND 10	Rútuslys á Kjalarnesi 20. janúar 2019. Hér er líkanið prófað miðað við smárútu ásamt gefnum og áætluðum aðstæðum. Niðurstaðan er sú að smárútan er inni á hættusvæði og því líklegt að hún hefði lent í slysi. Slysið sem líklegast er að hefði átt sér stað fyrst er að fremri hjólin myndu renna, þar er krítíski hraðinn lægstur. _____	27
MYND 11	Rútuslys á Kjalarnesi 20. janúar 2019. Hér er líkanið prófað miðað við tóma eða hálftóma rútu ásamt gefnum og áætluðum aðstæðum. Niðurstaðan er sú að rútan er inni á hættusvæði og því líklegt að hún hefði lent í slysi, sem gerðist. Miðað við líkanið er líklegast að fyrst hafi fremri hjól rúttunnar runnið á veginum, því þar er krítíski hraðinn lægstur, og svo oltið eftir það. _____	27
MYND 12	Rútuslys á Kjalarnesi 20. janúar 2019. Hér er líkanið prófað miðað við fulla rútu ásamt gefnum og áætluðum aðstæðum. Niðurstaðan er sú að rútan er rétt fyrir utan hættusvæði og gæti því hafa sloppið við slys. _____	28
MYND 13	Mynd frá Ingvari Þór Björnssyni, RÚV [18]. Hér má sjá frá slysstað á Hellsheiði þann 25. janúar 2020 þar sem smárúta fór út af og á hliðina og stór rúta út af veginum, aftar í mynd. Veðrið var vindasamt og færð nokkuð slæm. _____	28
MYND 14	Rútuslys á Hellsheiði 25. janúar 2020. Hér er líkanið prófað miðað við smárútu ásamt gefnum og áætluðum aðstæðum. Niðurstaðan er sú að smárútan er inni á hættusvæði og því líklegt að hún hefði lent í slysi, sem gerðist. Slysið sem líklegast er að hafi átt sér stað fyrst er að fremri hjólin myndu renna, þar er krítíski hraðinn lægstur. Rútan hefur svo oltið eftir það. _____	29

- MYND 15** Rútuslys á Hellisheiði 25. janúar 2020. Hér er líkanið prófað miðað við tóma eða hálfþóma rútu ásamt gefnum og áætluðum aðstæðum. Niðurstaðan er sú að rútan er inni á hættusvæði og því líklegt að hún hefði lent í slysi, sem gerðist. Miðað við líkanið eiga fremri hjól rúttunnar að hafa runnið á veginum, því þar er krítíski hraðinn lægstur. Þegar slysið átti sér stað valt rútan ekki, heldur fór bara út af, svo það er líklega það sem átti sér stað. _____ 30
- MYND 16** Rútuslys á Hellisheiði 25. janúar 2020. Hér er líkanið prófað miðað við fulla rútu ásamt gefnum og áætluðum aðstæðum. Niðurstaðan er sú að rútan er fyrir utan hættusvæði og gæti því hafa sloppið við slys. Miðað við þær upplýsingar að 40 manns hafi verið samtals í rúttunum tveimur er þó líklegt að rútan í þessu slysi hafi verið nær því að vera hálfþóm. _____ 30

TÖFLUSKRÁ

- TAFLA 1** Í þessari töflu má sjá jöfnurnar fyrir loftaflfræðilegu stuðlana. Lögum farartækis hefur mestu áhrifin á þá og því er þeim skipt upp eftir farartækjaflokkum. _____ 18
- TAFLA 2** Flokkar farartækja og stærðir sem lýsa þeim. _____ 21
- TAFLA 3** Hér má sjá flokkun vegaðstæðna ásamt núningstuðlinum fyrir hvern flokk sem notaður er í útreikningum. _____ 21

1 INNGANGUR

Þegar aðeins 18 dagar voru liðnir af árinu 2020 höfðu á annan tug alvarlegra umferðarslysa átt sér stað hér á landi. Margar lægðir með tilheyrandi vonskuveðri höfðu herjað á landið allt og gular og appelsínugular veðurviðvaranir orðnar nánast daglegt brauð – þær náðu upp í rauðar líka. Mörg slysanna áttu sér stað að einhverju eða öllu leyti vegna slæmrar færðar og veðurs og þar af nokkur þar sem sterkur vindur hafði áhrif. Í ljósi loftslagsbreytinga sem eiga sér stað nú á jörðinni má álykta að svona öfgar í veðri muni ekki fara minnkandi – þvert á móti. Stormar gætu orðið sterkari og kannski tíðari. Þar af leiðandi munu sterkir vindar að öllum líkindum verða enn sterkari.

Mikilvægt er að geta ákveðið hvenær loka skal vegum á Íslandi vegna mikilla vinda og slæmrar færðar, og ekki síst nú þegar ofangreind atriði eru tekin til greina. Þessi ákvörðun er ekki aðeins mikilvæg hvað öryggi varðar, heldur eru líka efnahagsleg sjónarmið fólki hugleikin. Markmið þessa verkefnis, sem styrkt er af rannsóknarsjóði Vegagerðarinnar, er að útbúa líkan sem hjálpar til við þá ákvörðun. Líkanið byggir á upplýsingum og útreikningum sem hafa verið gefin út í sambandi við þessi fræði. Það hefur nokkra inntakspætti, flokka til að skipta niður ökutækjum og útkomu þar sem metið er öryggis- og hættuástand miðað við hvern flokk og vindaðstæður.

Skýrsla þessi segir frá upplýsingaöflun, útreikningum, uppsetningu, notkun og niðurstöðum líkansins. Hún er unnin af Erlu Hrafnkelsdóttur hjá EFLU. Magnús Arason er verkefnisstjóri EFLU. Bjarni Már Gauksson er fulltrúi Vegagerðarinnar í þessu verkefni.

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

2 UPPLÝSINGAÖFLUN

Í rannsóknarverkefni sem þessu byggir vinnan að mestu leyti á heimildum sem snúa að sama viðfangsefni. Mikið hefur verið rannsakað varðandi áhrif vinds á farartæki, bæði héraðs og erlendis, en þau eru flókið viðfangsefni og margir þættir sem spila inn í. Enn þann dag í dag er þetta viðfangsefni tekið fyrir í rannsóknum, enda eyður í þessum fræðum sem enn vantar að fylla upp í.

2.1 Helstu rannsóknir

Á Íslandi ber helst að nefna þá Jónas Þór Snæbjörnsson og Ragnar Sigbjörnsson í þessum efnum. Þeir gáfu út tvær greinar um áhrif vinds á farartæki: „Probabilistic assessment of wind related accidents of road vehicles: A reliability approach“ árið 1998 [1] og „Probabilistic assessment of road vehicle safety in windy environments“ árið 2007 [2]. Báðar birtust í tímaritinu *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* og í þeirri seinni er hinn breski C.J. Baker einnig skráður sem höfundur. Í fyrri greininni fjalla þeir um rútuslys sem átti sér stað í október árið 1995 þar sem 41 farþegi var um borð þegar rútan lenti í hliðarvindi sem velti henni út af veginum. Tveir farþegar létust og aðrir slösuðust, sumir alvarlega. Þeir skoða slysið með líkindafræðilegum hætti, þ.e. setja upp líkan sem reiknar út líkurnar á að slysið eigi sér stað miðað við mismunandi þætti atviksins. Þar spilar inn í hraði rúttunnar, stærðir og þyngd hennar, aðstæðurnar á veginum, beygja og halli vegarins og hraði og stefna vindsins. Í greininni sem þeir birtu árið 2007 taka þeir aftur líkindafræðilega nálgun á viðfangsefninu en eru með aðeins víðari umfjöllun, þ.e. taka ekki fyrir eitt ákveðið slys. Þeir taka hins vegar loftaflfræðilega formstuðla úr öðrum heimildum þar sem gerðar hafa verið vindgangatilraunir fyrir vörubíl. Nánari umfjöllun um þá stuðla má sjá hér að neðan. Þeir setja fram útreikninga þar sem skoðaðar eru líkur á slysi, byggðar á slystuðli. Svo setja þeir upp gröf þar sem þeir skoða tengsl mismunandi breyta sem valda svona slysum.

Líkt og nefnt er hér að ofan er Bretinn C.J. Baker meðhöfundur í greininni sem Jónas og Ragnar birtu árið 2007. Baker er einn helsti rannsakandi þessara efna og hefur gefið út margar greinar þar sem hann skoðar áhrif vinds á farartæki, enda er nánast undantekningalaust vitnað í verk hans í greinum um þetta viðfangsefni. Í rannsóknum sínum hefur hann aðallega einbeitt sér að háum farartækjum, svo sem vörubílum og rútum, og lestum. Háu farartækin eru einmitt þau sem eiga í mestri hættu á slysum

í miklum vindi, þá sérstaklega hliðarvindi. Hann, ásamt fleirum, hefur tekið þátt í mörgum tilraunum og mælingum, aðallega til þess að ákvarða áhrif loftaflfræðilegu kraftanna sem verka á farartækin í vindi. Tilraunirnar eru margar hverjar framkvæmdar með líkönum farartækjanna í smækkaðri mynd í vindgöngum, bæði þar sem farartækin eru kyrr og á hreyfingu. Einnig hafa verið gerðar einhverjar mælingar í raunstærð og svokallaðar CFD hermanir, þar sem tölvugerðar hermanir á straumi lofts í kringum farartæki eru framkvæmdar. Baker hefur þá greint fjölda slysa sem áttu sér stað 25. janúar árið 1990 í aftakaveðri á Bretlandseyjum [3], reynt að búa til einfalt líkan sem snýr að því hvenær vörubílar skuli hætta að keyra vegna vinds og skoðað hvernig minnka megi líkurnar á slysi. Fyrsta, einfalda líkanið sem hann setti fram var tveggja punkta og hljóðar svo [4]:

- Þegar vindhviður ná yfir 17,5 m/s skal hraði hárra farartækja takmarkast við 10 m/s (36 km/klst) og viðvörðunarkerki virkjast.
- Þegar vindhviður ná yfir 22,5 m/s er mælt til þess að loka skuli fyrir alla umferð.

Þessi skilyrði kunna að hljóma nokkuð ströng en Bretar eru að öllum líkindum ekki jafn vanir vindasömu veðri og Íslendingar. Síðar meir reyndi Baker að skoða mannlega þáttinn, viðbrögð ökumanns í erfiðum vindaðstæðum, en komst að því að nánast ómögulegt væri að meta þann þátt með nokkurri nákvæmni. Það má því segja að hann hafi kafað ansi djúpt í þetta viðfangsefni á sínum starfsferli.

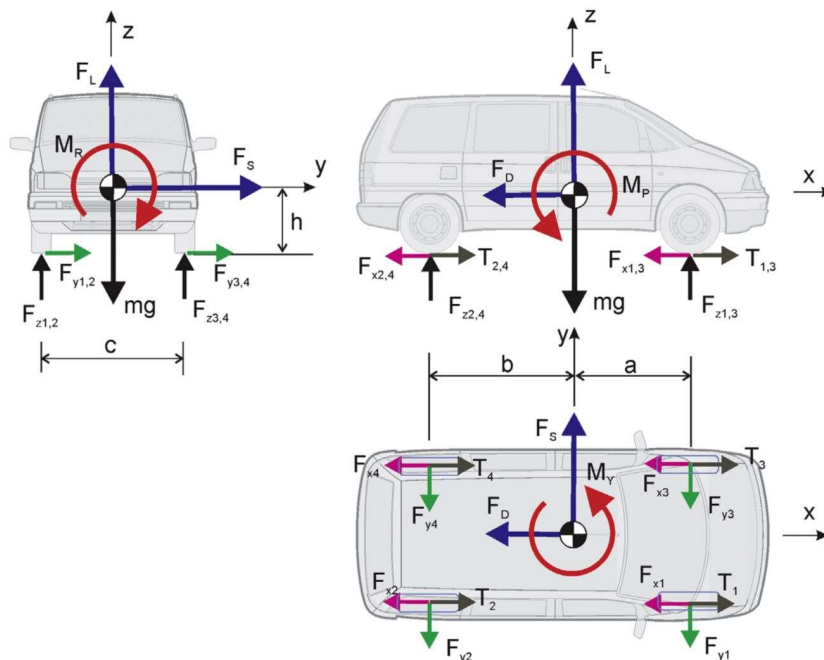
Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar hefur í gegnum tíðina styrkt margvíslegar rannsóknir tengdar umferð og slyshættu. Sú sem helst tengist þessu verkefni er „Umferð og vindafar: Áfangaskýrsla I“ sem styrkt var af RANNUM og gefin út árið 2004. Hún byrjar á því að fjalla um viðfangsefnið á faglegum grunni með því að skoða og útskýra samband vindafars, færðar á vegum og öryggis farartækja. Svo eru tekin til greina raunveruleg dæmi; gögn um umferðarslys sem hafa átt sér stað undir Hafnarfjalli ásamt framkvæmd mælinga á vindafari þar, enda staður þekktur fyrir sterka vinda. Niðurstöður skýrslunnar gefa til kynna að flest slysin undir Hafnarfjalli hafi átt sér stað þegar vegur er blautur eða háll, sem kemur ekki á óvart. Gögn um vindafar í slysa grunninum eru tiltölulega fá og því lítið gagn í tölfræðilegum greiningum. Lagðar eru til tillögur til úrbóta og meira að segja sett fram kerfi sem hugmynd að flokkun hættuástanda, þar sem aðstæðum er skipt í þrjá hættuflokka miðað samanlögð áhrif vindhviða og færðar vegar [5].

Að síðustu ber að nefna grein sem hefur yfirskriftina „A simple static analysis of moving road vehicle under crosswind“, gefin út árið 2014 eftir Milan Batista og Marko Perkovič frá Slóveníu. Líkt og titillinn gefur til kynna er fjallað um farartæki á opnum vegum sem verða fyrir hliðarvindi. Það sem þessi grein hefur fram yfir margar aðrar eru skýrir útreikningar, útleiðslur á þeim og forsendur. Vegna þessa er þessi grein ákveðin undirstaða þeirra útreikninga sem framkvæmdir eru í þessu verkefni [6].

3 ÚTREIKNINGAR

Þar sem viðfangsefnið er flókið, líkt og áður hefur verið sagt, þarf að gera einfaldanir á mörgum þáttum útreikninganna. Hér á eftir verður útreikningunum og forsendum þeirra lýst stuttlega. Að frátöldum loftaflfræðilegum formstuðlum byggjast allir útreikningar þessa kafla á greininni „A simple static analysis of moving road vehicle under crosswind“ eftir Milan Batista og Marko Perković [6].

3.1 Kraftar og vægi



MYND 1 Á þessari mynd má sjá mál farartækis, kraftana sem verka við veg og loftstreymiskrafta- og vægi sem verka vegna vinds. Hnitakerfið snýr þannig að x-ás er í akstursstefnu farartækisins, y-ás er í stefnu þvert á veg og z-ás í lóðrétta stefnu [6].

Einn mikilvægasti þátturinn í áhrifum vinds á farartæki er mat á loftstreymiskröftum og -vægi sem verka á þau. Þessir kraftar og vægi eru háð hraða, stefnu og lögun farartækis og hraða og stefnu vinds

[5]. Í útreikningum er gert ráð fyrir að farartækin séu stjafir hlutir með tvo öxla. Á dekkun verka núningskraftar vegna viðnáms við veg og vegna þess að farartækið er stjafir hlutur yfirferast þyngdarkraftur og loftstreymiskraftar og -vægi á massamiðju farartækisins. Á **MYND 1** má sjá kraftana, vægin og stefnur þeirra, ásamt nokkrum málum. Lengdir a og b eru frá massamiðju út í fremri og aftari öxul, c er breidd farartækisins og h er hæð frá vegi upp í massamiðju.

Loftstreymiskraftarnir og -vægin eru skilgreind á eftirfarandi hátt:

$$F_D = C_D A \frac{\rho V^2}{2} \quad \text{dragkraftur (e. drag force),} \quad (1)$$

$$F_S = C_S A \frac{\rho V^2}{2} \quad \text{hliðarkraftur (e. side force),} \quad (2)$$

$$F_L = C_L A \frac{\rho V^2}{2} \quad \text{lyftikraftur (e. lift force),} \quad (3)$$

$$M_R = C_R A h \frac{\rho V^2}{2} \quad \text{veltuvægi (e. rolling moment),} \quad (4)$$

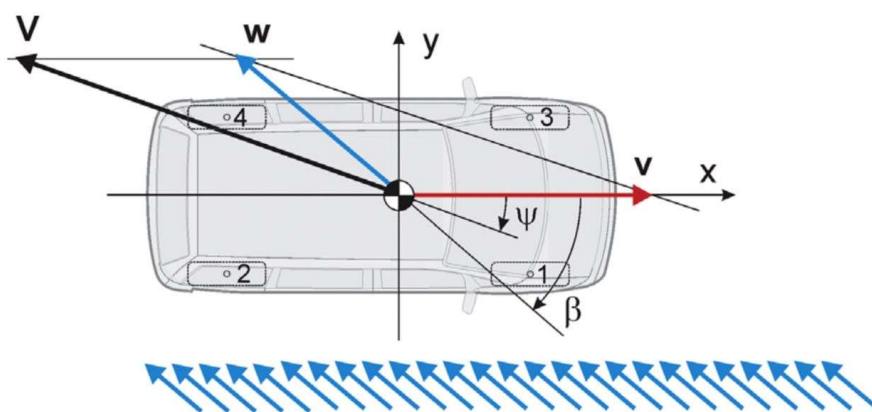
$$M_P = C_P A h \frac{\rho V^2}{2} \quad \text{steypivægi (e. pitching moment),} \quad (5)$$

$$M_Y = C_Y A h \frac{\rho V^2}{2} \quad \text{snúningsvægi (e. yawing moment),} \quad (6)$$

þar sem ρ er eðlismassi lofts ($1,2245 \text{ kg/m}^3$), A er viðmiðunarflatarmál, V er virkur (e. *apparent*) vindhraði, h er hæð frá jörðu upp í massamiðju farartækisins og stuðlarnir C_i eru loftaflfræðilegir formstuðlar – þeir verða skoðaðir nánar hér á eftir. Í þessum útreikningum, og í flestum öðrum greinum, er viðmiðunarflatarmálið A flatarmálið framan á farartæki. V , virki vindhraðinn, er vindhraðinn sem verður miðað við hraða farartækisins, sjá **MYND 2** [6]. Sambönd hraðanna og hornanna sem sjá má á myndinni er hægt að lýsa með eftirfarandi jöfnum:

$$V^2 = v^2 + 2vw \cos(\beta) + w^2 \quad (7)$$

$$\psi = \arctan\left(\frac{w \sin(\beta)}{v + w \cos(\beta)}\right) \quad (8)$$



MYND 2 Hér má sjá farartæki á ferð í vindi. Hraði og stefna bílsins er táknuð með v , hraði og stefna vindsins táknuð með w og virkur hraði og stefna vindsins, hraði hans og stefna miðað við hraða farartækis, táknuð með V [6].

3.2 Slysajöfnur

Umferðarslysum sem rekja má til vinda er hægt að skipta upp í þrjá flokka [6]:

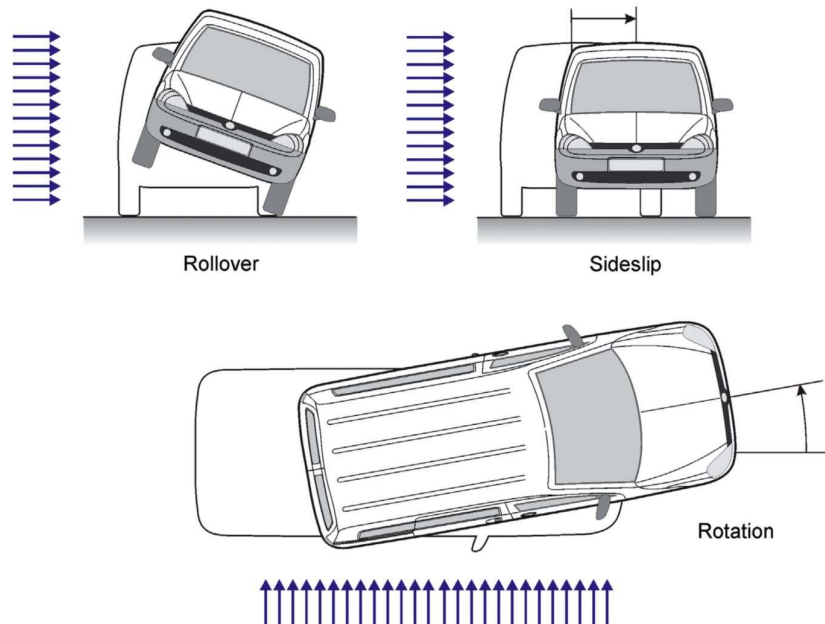
- Slys þar sem farartæki veltur
- Slys þar sem farartæki rennur
- Slys þar sem farartæki snýst

Myndræna lýsingu á slysunum má sjá á **MYND 3**. Til þess að geta reiknað út hvernig slys á eða ætti að eiga sér stað hafa eftirfarandi skilyrði verið sett upp [6]:

- Farartæki veltur þegar snertikraftur þess við vegginn verður að núll á innan við 0,5 sekúndum
- Farartæki rennur þegar hliðarhreyfing þess verður meiri en 0,5 metrar á innan við 0,5 sekúndum
- Farartæki snýst þegar það snýst um meira en $11,5^\circ$ frá beinni stefnu á innan við 0,5 sekúndum

Þessi atriði lýsa hreyfifræðilegum (*e. dynamic*) skilyrðum. Hins vegar, til þess að einfalda útreikninga, eru þessi skilyrði heimfærð á stöðufræðilegan (*e. static*) hátt. Þá verða þau eftirfarandi [6]:

- Farartæki veltur þegar snertikraftur dekkjanna við veg verður að núll
- Farartæki rennur þegar núningsmörkum dekkjanna við veg er náð
- Farartæki snýst þegar dekk annars öxulsins ná núningsmörkum við veg



MYND 3 Hér má sjá slysategundirnar þrjár sem eiga sér stað vegna vinds. Farartæki veltur (*e. rollover*), rennur (*e. sideslip*) eða snýst (*e. rotation*) [6].

Þegar þetta hefur verið tekið til greina eru útreikningarnir orðnir viðráðanlegri. Á endanum, þegar búið er að leysa úr og setja saman krafta- og vægisjafnvægisjöfnur, verða til sex slysajöfnur sem setja má fram á eftirfarandi hátt.

$$\text{Fremra hjól lyftist: } \frac{2mg}{\rho A} \frac{bc}{h(a+b)(C_S+C_R)+hc(C_D+C_P)+bcC_L} - v^2 - 2vw \cos(\beta) - w^2 = 0 \quad (9)$$

$$\text{Aftara hjól lyftist: } \frac{2mg}{\rho A} \frac{ac}{h(a+b)(C_S+C_R)-hc(C_D+C_P)+acC_L} - v^2 - 2vw \cos(\beta) - w^2 = 0 \quad (10)$$

$$\text{Farartæki veltur: } \frac{2mg}{\rho A} \frac{c}{2h(C_S+C_R)+cC_L} - v^2 - 2vw \cos(\beta) - w^2 = 0 \quad (11)$$

$$\text{Fremri hjól renna: } \frac{2mg}{\rho A} \frac{\mu b}{bC_S+h(C_Y-q'(C_S+C_R))+\mu(bC_L+h(C_D+C_P))} - v^2 - 2vw \cos(\beta) - w^2 = 0 \quad (12)$$

$$\text{Aftari hjól renna: } \frac{2mg}{\rho A} \frac{\mu a}{aC_S-h(C_Y-q'(C_S+C_R))+\mu(aC_L-h(C_D+C_P))} - v^2 - 2vw \cos(\beta) - w^2 = 0 \quad (13)$$

$$\text{Öll hjól renna: } \frac{2mg}{\rho A} \frac{\mu(a+b)}{(a+b)C_S+\mu(a+b)C_L} - v^2 - 2vw \cos(\beta) - w^2 = 0 \quad (14)$$

Hér er m massi farartækisins og g er þyngdarhröðun jarðar ($9,8 \text{ m/s}^2$). Breytunni q' má svo lýsa svona:

$$q' = \frac{i_1+i_2}{2}q - f_R \quad (15) \quad \text{þar sem} \quad q = \frac{(a+b)\left(C_D+f_R\left(\frac{2mg}{\rho A^2}-C_L\right)\right)}{(i_1b+i_2a)\left(\frac{2mg}{\rho AV^2}-C_L\right)+(i_2-i_1)h(C_P+C_D)} \quad (16)$$

Hér er q svokallaður gripstuðull (*e. traction parameter*) sem tekur gildi frá 0 til 1. Stuðullinn f_R kallast snúningsmótstöðustuðull og hefur gildið 0,013 fyrir farartæki á malbiksvegum [7]. Í þessum jöfnum á i_1 við fremri öxul farartækisins og i_2 aftari. Þessar breytur taka annað hvort gildið 1 eða 0; 1 ef farartækið er drifið á viðeigandi öxli og 0 ef ekki [6]. Í útreikningum þessa verkefnis er gert ráð fyrir að öll farartæki séu afturhjóladrifin, þ.e. reiknað er með $i_1 = 0$ og $i_2 = 1$. Þessi ákvörðun var tekin með hliðsjón af áherslunni á smárútur og stærri bíla sem eru yfirleitt afturhjóladrifin.

Rétt er að minnast á það að til er önnur framsetning þessara líkinga, sem sett er upp í grein Milan Batista og Marko Perkovič [6], þar sem greinarmunur er gerður á núningnum μ við veg eftir því hvort drif er á öxli eða ekki. Það er mat höfunda að niðurstöður sem slík nálgun gæfi auki ekki verulega á nákvæmni líkansins, þegar metið er m.t.t. þeirra fjölmörgu nálgana og einfaldana sem gerðar eru hér til að lýsa flókinni atburðarás í viðráðanlegu líkani

Út frá þessum sex slysjöfnum má svo finna kritískan vindhraða, þann vindhraða sem veldur slysi, með því að leysa jöfnurnar tölulega fyrir w , vindhraðann. Þá má líka sjá hvers konar slys er líklegast til að eiga sér stað en það er út frá þeirri slysjöfnu sem gefur lægstu lausnina fyrir w . Þessir útreikningar eru undirstaða líkansins sem kynnt verður hér á eftir.

3.3 Loftaflfræðilegir formstuðlar

Ein helsta áskorunin í útreikningum og líkangerð þessa verkefnis, sem og öðrum svipuðum, er að finna loftaflfræðilega formstuðla (*e. aerodynamic coefficients*) sem passa fyrir hverja gerð farartækis. Þeir segja til um hversu mikil áhrif vindur hefur á farartæki og eru notaðir í jöfnum (1) til (6). Eina leiðin til þess að finna þessa stuðla er að framkvæma tilraunir, í vindgöngum eða raunstærð, eða hermanir. Þar sem helsti áhrifaþáttur þessara stuðla er stærð og lögun farartækis eru þeir mismunandi fyrir hverja gerð – stuðlar fyrir t.d. fólkubíla og stóra vörubíla eru ekki þeir sömu. Því er ekki aðeins erfitt að finna

Þessa stuðla heldur dýrt líka, ef reyna á að finna þá fyrir allar gerðir og tegundir farartækja á vegum. Hingað til hafa flestar tilraunir til þess að ákvarða stuðlana verið byggðar á vindgangatilraunum. Þá þarf, fyrir það fyrsta, að hafa almennileg vindgöng og svo að búa til líkan af því farartæki sem skoða skal. Hægt er að framkvæma mælingarnar með líkaninu kyrru eða á ferð, þar sem hið síðarnefnda er talsvert flóknara. Niðurstöður þessara tilrauna hafa þó verið mismunandi og þarf að framkvæma fleiri til þess að þær verði nákvæmari og í samræmi hver við aðra. Nú nýlega hafa vísindamenn einnig snúið sér að tölulegum hermunum til þess að reyna að prófa eins mörg tilfelli og hægt er [8].

Í þessu verkefni var komist að því að raunin er sannarlega sú að ákvörðun þessara stuðla er erfiðasti hlutinn. Skoðaðar voru ótalmargar heimildir hvaðanæva úr heiminum til þess að finna stuðla sem hentuðu en það gekk erfiðlega. Langflestar heimildirnar voru mælingar á sömu, stóru farartækjunum; lestum, vörubílum og rútum. Þetta eru þau farartæki sem eru hvað viðkvæmust fyrir sterkum hliðarvindum vegna mikils hliðarflatarmáls þeirra, þau eru há og löng. Hins vegar var lítið sem ekkert að finna þegar kom að loftaflfræðilegum formstuðlum fyrir minni bíla eins og venjulega fólksbíla og jeppa. Þetta þýddi að í boði voru nokkuð margir, mjög mismunandi, stuðlar fyrir rútur eða vörubíla en engir vel nothæfir fyrir minni bíla.

Markmið þessa verkefnis var að hanna líkan fyrir farartæki frá litlum fólksbílum upp í stærstu rútur eða vörubíla. Hins vegar, vegna takmarkaðs framboðs loftaflfræðilegu formstuðlanna, var ekki hægt að hafa jafn marga farartækjaflokka og upphaflega var ætlað. Það tókst þó að velja stuðla fyrir tvo flokka: smárútur og rútur/flutningabílar. Í lokaútreikningum verður svo stærri flokknum skipt upp í tvo, eftir því hvort rúturnar/flutningabílarnir eru tómir/hálfatómir eða fullir. Þyngdin hefur ekki áhrif á loftaflfræðilegu formstuðlana svo þeir eru þeir sömu hvort sem farartækin eru fulllestuð eða tóm. Fjallað verður nánar um flokkun farartækjanna í kaflanum um þróun reiknilíkansins.

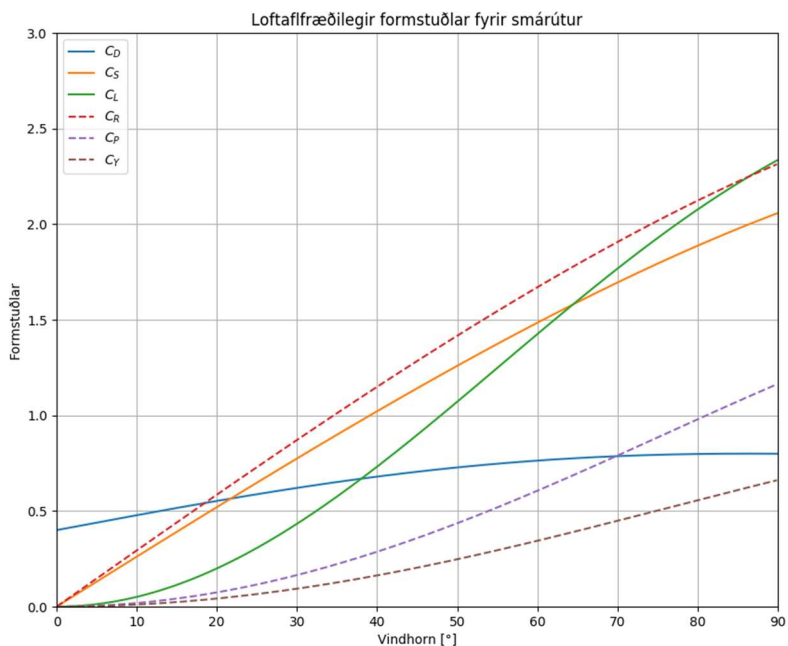
TAFLA 1 hér að neðan inniheldur jöfnurnar fyrir loftaflfræðilegu stuðlana sex, skipt upp eftir farartækjaflokkunum. Þær fást úr greinum frá Baker; jöfnurnar fást úr [9] og stuðlarnir margfaldaðir við þær úr [3]. Á endanum urðu hans stuðlar fyrir valinu þar sem hann er einn helsti rannsakandi þessara efna og vegna þess að þessir stuðlar pössuðu ágætlega við raunveruleg dæmi. Breytan ψ sem er í jöfnunum stendur fyrir virka vindhornið, horn vindvigursins sem myndast miðað við ferð vindsins og farartækisins. Stuðlarnir eru byggðir á skilgreiningu þessa horns þar sem þeir breytast þegar það breytist. Skilgreiningu ψ má sjá í jöfnu (8) og myndrænt á **MYND 2**.

TAFLA 1 Í þessari töflu má sjá jöfnurnar fyrir loftaflfræðilegu stuðlana. Lögum farartækis hefur mestu áhrifin á þá og því er þeim skipt upp eftir farartækjaflokkum.

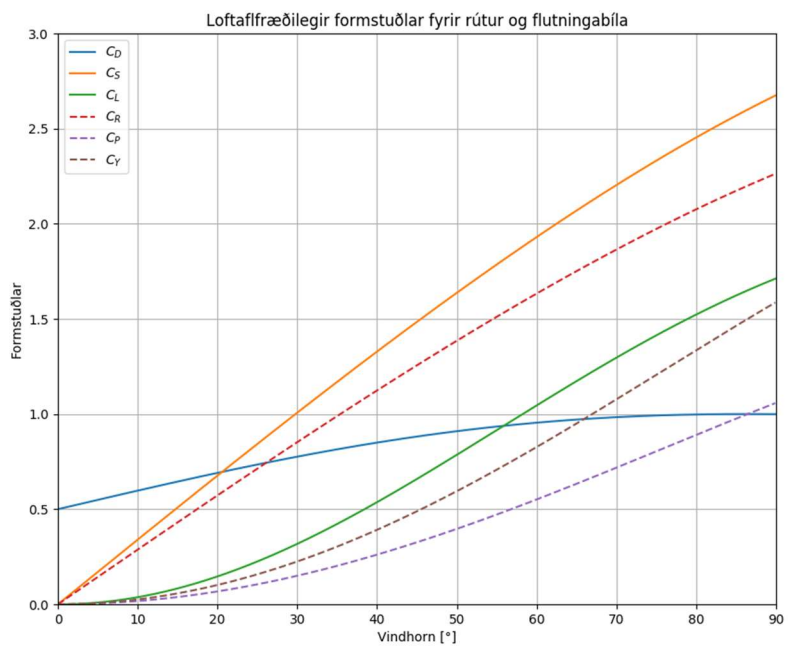
STUÐULL	SMÁRÚTUR	RÚTUR OG FLUTNINGABÍLAR
Dragstuðull (C_b)	$0,4 (1 + \sin(3\psi))$	$0,5 (1 + \sin(3\psi))$
Hliðarstuðull (C_s)	$4 \sin(\psi)$	$5,2 \sin(\psi)$
Lyftistuðull (C_l)	$1,5 (1 - \cos(4\psi))$	$1,1 (1 - \cos(4\psi))$
Veltistuðull (C_R)	$4,5 \sin(\psi)$	$4,4 \sin(\psi)$
Steypistuðull (C_p)	$2,2 (1 - \cos(2\psi))$	$2 (1 - \cos(2\psi))$
Snúningsstuðull (C_v)	$2,5 \sin^2(\psi)$	$6 \sin^2(\psi)$

Á **MYND 4** og **MYND 5** er loftaflfræðilegu formstuðlunum lýst á myndrænan hátt. Þar eru sett upp gröf þar sem vindhorn er á lárétta ásnum og hinir einingalaus stuðlar á lóðrétta ásnum. Í 0° stefnir vindur

beint framan á farartæki en í 90° stefnir hann þvert á hlið farartækis. Líkt og sjá má hækka stuðlarnir með hærra vindhorni, enda hefur kraftur vindsins meiri áhrif eftir því sem flatarmálið sem hann verkar á er stærra. Hættan á slysi eykst þá sömuleiðis með hærra horni. Hornið sem um ræðir í þessum gröfum er hið eiginlega vindhorn, eða β á **MYND 2**. Í töflunni og á myndunum má sjá að jöfnurnar fyrir flokkana tvo eru í grunninn þær sömu, það eru aðeins margföldunarstuðlarnir fremst sem eru mismunandi.



MYND 4 Loftaflfræðilegir formstuðlar fyrir smárútur. Stuðlunum er lýst með vindhorninu sem myndast miðað við farartæki, þar sem 0° eru vindur beint framan á farartæki og 90° vindur þvert á hlið farartækis.



MYND 5 Loftaflfræðilegir formstuðlar fyrir rútur og flutningabíla. Stuðlunum er lýst með vindhorninu sem myndast miðað við farartæki, þar sem 0° eru vindur beint framan á farartæki og 90° vindur þvert á hlið farartækis.

4 ÞRÓUN REIKNILÍKANS

Snemma í ferlinu var ákveðið að útbúa gagnvirkt viðmót fyrir líkanið. Hugmyndin var sú að notandi líkansins myndi setja inn ákveðna inntakspætti, svo sem vindhraða og vegaðstæður, og að út myndi koma niðurstaða líkansins fyrir þær aðstæður miðað við hvern farartækjaflokk. Þá þurfti líka að ákveða hvernig líkanið sjálft skyldi vera – þ.e. hvernig skyldi setja fram niðurstöður um hvort aðstæður fyrir farartæki á vegum væru öruggar eða ekki.

4.1 Flokkar og inntakspættir

4.1.1 Flokkar farartækja

Byrjum á því að skoða flokkun farartækjanna. Líkt og áður kom fram takmarkaðist hún aðallega vegna loftaflfræðilegu formstuðlanna. Þeir eru mikilvægur þáttur í útreikningunum og vegna lítills framboðs og nákvæmni þurfti að takmarka flokkana við þá stuðla sem fundnir voru og taldir nothæfir.

Eftir upplýsingaöflun og útreikninga var ákveðið að skipta farartækjunum í þrjá flokka:

1. Smárútur
2. Tómar eða hálfatómar rútur og flutningabílar
3. Fullar rútur og fulllestaðir flutningabílar

Þar sem massi farartækjanna hefur mikil áhrif á hættu þeirra þegar kemur að miklum vindi þá er stærri flokknum, rútum og flutningabílum, skipt í tvennt. Þess ber einnig að geta að það eru til ótalmargar mismunandi tegundir og stærðir af farartækjum á vegunum; því eru flokkarnir byggðir á nálgunum og meðaltalsstærðum og hafa mikla dreifni í raunveruleikanum.

TAFLA 2 hér að neðan lýsir stærðum farartækjanna, massa, lengdum og þess háttar, fyrir flokkana þrjá. Þessar stærðir eru notaðar í útreikningum líkansins og má sjá þær á **MYND 1** í útreikningakaflanum.

TAFLA 2 Flokkar farartækja og stærðir sem lýsa þeim.

STÆRÐ	SMÁRÚTUR	RÚTUR OG FLUTNINGABÍLAR			
		TÓMAR/HÁLFTÓMAR		FULLAR	
Massi m	6.000 kg [10]	13.000 kg	[10]	19.000 kg	[10]
Lengd a (frá massamiðju að fremri öxli)	2,8 m [11]	4,1 m	[11]	4,1 m	[11]
Lengd b (frá massamiðju að aftari öxli)	1,7 m [11]	2,5 m	[11]	2,5 m	[11]
Breidd c	2,6 m [11]	2,6 m	[11]	2,6 m	[11]
Hæð h (frá jörðu að massamiðju)	0,9 m [12]	1,5 m	[12]	1,5 m	[12]
Hæð H (heildarhæð frá jörðu)	2,7 m [13]	3,8 m	[14]	3,8 m	[14]
Flatarmál A (flatarmál framan á farartæki)	7,0 m ²	9,9 m ²		9,9 m ²	

4.1.2 Vegaðstæður

Þó þetta verkefni fjalli um áhrif vinds á farartæki, þá eru vegaðstæður mjög mikilvægar líka og vega þungt í útreikningum. Mikill munur getur verið á áhrifum vindsins eftir því hvort vegur er þurr, blautur eða háll. Í líkaninu er því vegaðstæðum skipt upp í fimm flokka, með flokkun frá Vegagerðinni til hliðsjónar [15]. Flokkarnir eru inntakspættir í líkaninu, þ.e. notandi setur inn vegaðstæður og fær niðurstöður miðað við það val. **TAFLA 3** sýnir þessa flokkun.

TAFLA 3 Hér má sjá flokkun vegaðstæðna ásamt núningstuðlinum fyrir hvern flokk sem notaður er í útreikningum.

ÁSTAND YFIRBORÐS VEGAR	NÚNINGSSTUÐULL μ
Þurrt vegyfirborð	0,7
Blautt vegyfirborð	0,5
Nýfallinn snjór	0,3
Þjappaður snjór	0,2
Blautur ís, glæra	0,1

4.1.3 Hraði farartækja

Annar þáttur sem hefur áhrif á hættu farartækja í miklum vindi er hraði þeirra. Til þess að geta áttað sig á áhrifunum sem hraðalækkun hefur á aukið öryggi býður líkanið upp á inntakspáttinn hraða farartækis. Notandi getur valið á milli 50, 60, 70, 80 og 90 km/klst hraða. Þetta getur nýst vel ef möguleiki er á því að lækka hraða í hættulegum aðstæðum, í stað þess að loka vegi alfarið.

4.2 Uppsetning líkans

Líkt og talað var um í útreikningakaflanum höfum við sex mismunandi tegundir slysa:

1. Annað fremra hjól farartækis lyftist frá vegi
2. Annað aftara hjól farartækis lyftist frá vegi
3. Farartæki veltur á hliðina
4. Fremri hjól farartækis renna á vegi
5. Aftari hjól farartækis renna á vegi
6. Öll hjól farartækis renna á vegi

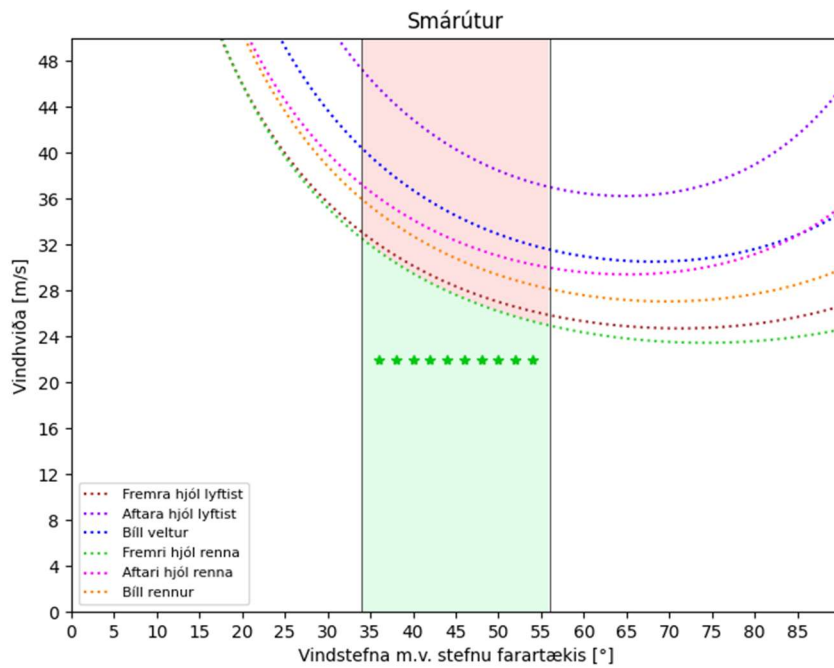
Þessar tegundir eru taldar ná á fullnægjandi hátt utan um þær atburðarásir geta farið af stað þegar akstursskilyrði verða hættuleg sökum vinds. Þeim er lýst í jöfnum (9) til (14).

Við hönnun líkansins var ákveðið að gott væri að hafa lýsingu á öllum þessum slysategundum til þess að hægt væri að átta sig á hvaða slys væri ráðandi, þ.e. hvaða tegund af slysi væri líklegast til að eiga sér stað miðað við gefnar aðstæður. Þá var spurningin bara hvernig best væri að setja niðurstöður líkansins fram.

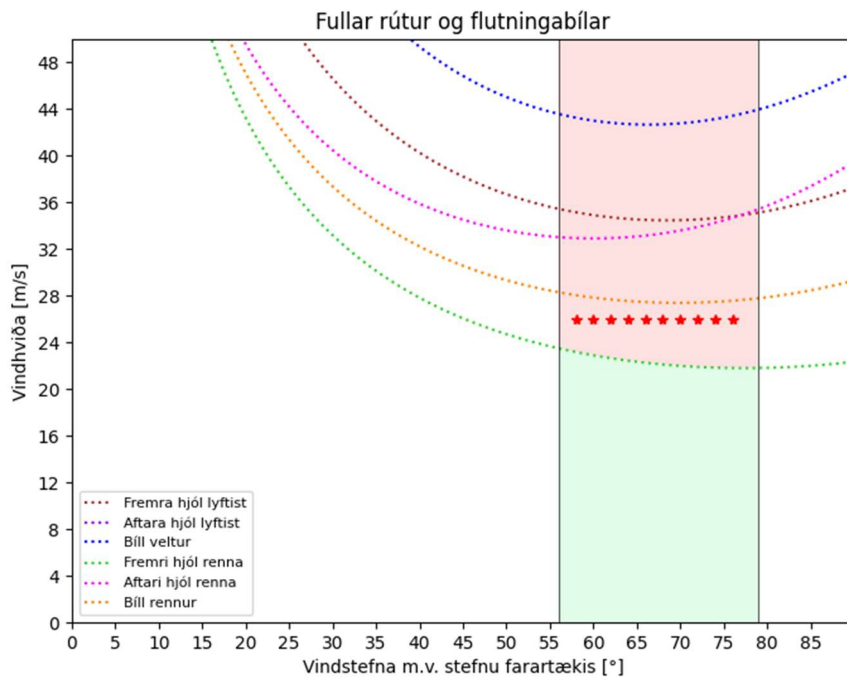
Í útreikningakaflanum var því lýst að til þess að einfalda útreikninga eru þeir framkvæmdir á stöðufræðilegan hátt (*e. static*). Fyrir hverja slysategund er fundinn krítískur vindhraði, þ.e. sá vindhraði sem hefur það í för með sér að áraun frá vindi verður meiri en sem nemur mótstöðu gagnvart því slysatilviki. Niðurstaðan er „*deterministic*“, þ.e. á forminu „Í LAGI/EKKI Í LAGI“. Ekki er lagt mat á líkur á slysi, þ.e. líkanið er ekki líkindafræðilegt í þessari útgáfu. Hér er aftur minnt á að líkanið er að nálga mjög flókna atburðarás. Það er mat höfunda að stóraukið flækjustig á líkani samfara því að innleiða notkun slembibreyta fyrir inntakspætti, líkindafræðilega meðferð þeirra og tölfræðilega framsetningu niðurstaða auki ekki endilega notagildi líkansins. Þetta er byggt á því að ekki er til mikið af upplýsingum um líkindadreifingar fyrir alla inntakspættina auk þess sem ekki liggur fyrir hvernig tülka ætti tölfræðilegar niðurstöður m.t.t. lokunar vega.

Eftir að hafa borið saman áhrifaþætti líkansins var ákveðið að líkanið skyldi setja fram á myndrænan hátt, sem graf fyrir hverjar útreiknaðar aðstæður. Á þessu grafi er vindhorn á lárétta ásnum (horn β á **MYND 2**) og vindhraði á lóðrétta ásnum. Grafið sýnir sex línur, eina fyrir hverja tegund slyss. Þá er öruggt svæði það sem er undir línunum en hættusvæði fyrir ofan þær. Til þess að auðvelda notandanum aflestur grafsins er sett inn stjörnulína þar sem vindhviðuhraði er í viðkomandi aðstæðum, og svo teiknaður borði á því hornabili sem vindurinn verkar á bílinn í aðstæðunum. Sá borði hefur grænan lit fyrir neðan neðstu slysalínuna (það slys sem hefur lægsta krítíska hraðann) en rauðan lit þar fyrir ofan. Græni liturinn táknar þá öruggt svæði og sá rauði hættusvæði.

Dæmi um hvernig niðurstöður líkansins líta út má sjá á **MYND 6** og **MYND 7**. Ekki er sérstaklega tilgreint hvort setja eigi inn meðalvind eða vindhviðu í líkanið en hingað til hefur vindhviðuhraðinn verið notaður frekar þar sem líklegra er að slys eigi sér stað í óvæntum, hvössum hviðum. Myndirnar sýna líka að hættan eykst með hærra horni og nær yfirleitt hámarki í kringum 70 - 80°.



MYND 6 Dæmi um niðurstöður úr líkani. Hér má sjá niðurstöður fyrir smárútur á hraðanum 90 km/klst þar sem vegaáðstæður eru blautar ($\mu = 0,5$). Vindhviða er í 22 m/s og vindstefnan á bilinu 33,75 - 56,25°, sem gæti t.a.m. verið þar sem vegur er í N-átt og vindur í NA-átt. Niðurstöðurnar gefa að þessar áðstæður eigi að vera öruggar.



MYND 7 Dæmi um niðurstöður úr líkani. Hér má sjá niðurstöður fyrir fullar rútur og fulllestaða flutningabíla á hraðanum 80 km/klst þar sem vegaáðstæðum er lýst sem þjöppuðum snjó ($\mu = 0,2$). Vindhviða er í 26 m/s og vindstefnan á bilinu 56,25 - 78,75°, sem gæti t.a.m. verið þar sem vegur er í V-átt og vindur í NNW-átt. Niðurstöðurnar gefa að þessar áðstæður eigi að vera hættulegar og að slyss gæti átt sér stað.

4.3 Notendaviðmót

Síðasta skrefið í þróun reiknilíkansins var að búa til notendaviðmót. Líkt og nefnt var í upphafi þessa kafla var ákveðið að útbúa gagnvirk viðmót fyrir notendur líkansins. Best þótti að búa til einfalda vefsíðu sem notendur hafa aðgang að.

Útreikningar líkansins og gröfin eru búin til með Python kóða. Þessir útreikningar eru nokkuð þungir, þar sem leysa þarf hverja og eina slysajöfnu með tölulegri nálgun, fyrir hvern og einn punkt á grafinu. Þetta leiðir til þess að nokkrar sekúndur getur tekið að búa til hverja og eina mynd. Þegar vefviðmót er annars vegar er hins vegar mikilvægt að gera það eins skjótvirkt og hægt er svo notendaupplifunin sé góð. Því var ákveðið að reikna út öll töluleg gögn fyrir hverja og eina myndasamsetningu og geyma í gagnagrunni. Í grunninn reiknar líkanið og teiknar samtals 75 myndir; breyturnar eru þrjú mismunandi farartækjaflokkar, fimm mismunandi vegaðstæður og fimm mismunandi hraðar farartækja. Ofan á þessar 75 grunnmyndir er svo hægt að teikna alla mismunandi vindhraða og setja inn hornabil (borðann) fyrir allar áttir.

Gagnagrunnurinn sem ákveðið var að notast við kallast PostgreSQL. Í hann voru tölur fyrir öll gröf settar í töflur ásamt öðrum töflum sem notaðar eru til að flokka niður gagnapunktana. Þegar öll gögn eru komin þangað þá er hægt að tengja töflurnar við Python kóða og velja í honum úr gögnunum miðað við gefna inntakspætti, sem er mikið hraðvirkara en að reikna allt út í hvert og eitt skipti.

Að lokum var eftir vefsíðuhönnunin en hún var unnin á nokkuð hefðbundinn hátt, enda einföld vefsíða sem þurfti að búa til. Ritillinn sem notaður var heitir Visual Studio Code, sem er mjög öflugur og notendavænn. Til þess að hanna virkni vefsíðunnar er React nýtt sem er eins konar JavaScript vefþróunartól og það mest notaða sinnar tegundar í heiminum í dag [16].

Á næstu tveimur myndum má sjá skjáskot af vefsíðunni. Á **MYND 8** má sjá upphafssíðu vefviðmótsins og á **MYND 9** viðmótið þegar búið er að keyra það miðað við gefna inntakspætti.



ÁHRIF VINDS Á FARARTÆKI

Vindhraði: m/s
 Vindátt:
 Vegátt:
 Vegaðstæður:
 Hraði: km/klst

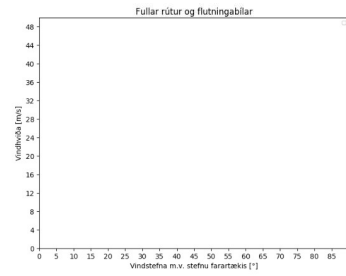
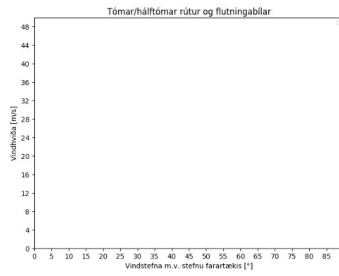
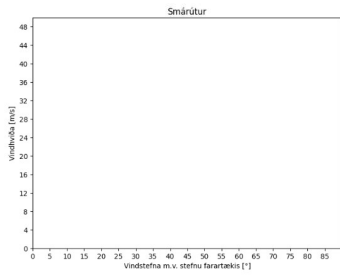
Flokkar farartækja

Flokkur 1: Smárútur. Hér er miðað við 6 tonna þyngd.
 Flokkur 2: Tómar/hálftómar rútur og flutningabílar. Hér er miðað við 13 tonna þyngd.
 Flokkur 3: Fullar rútur og flutningabílar. Hér er miðað við 19 tonna þyngd.

Athugasemd: Líkan þetta er ætlað til stuðnings ákvörðunar um lokun á vegum og skal ekki túlka sem alnákvæmar niðurstöður.

Aflestur grafa

Á grófunum má sjá að slysum er skipt niður í sex flokka. Lóðrétti borðinn er staðsettur miðað við hornið sem myndast milli stefnu farartækisins á ferð og vindáttarinnar. Mörk rauða og græna svæðisins liggja þar sem kritísk slysatengundin er staðsett. Þá tákna græna svæðið öruggt svæði en það rauða að hætta sé á slysi. Stjórnunarlíggja í gefnum vindhraða. Í 0° er vindur í stefnu beint framan á farartæki en í 90° er vindur í stefnu beint á hlið farartækis.



MYND 8 Hér má sjá upphafssíðu vefviðmóts líkansins fyrir áhrif vinds á farartæki. Inntakspættirnir sem notandi slær inn eru í efra vinstra horninu, þar við hlið leiðbeiningar fyrir notanda og svo tóm líkón þar fyrir neðan.



ÁHRIF VINDS Á FARARTÆKI

Vindhraði: m/s
 Vindátt:
 Vegátt:
 Vegaðstæður:
 Hraði: km/klst

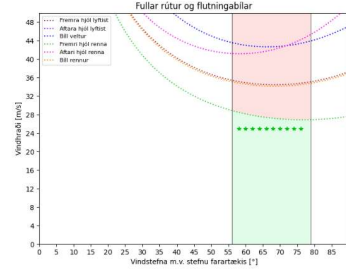
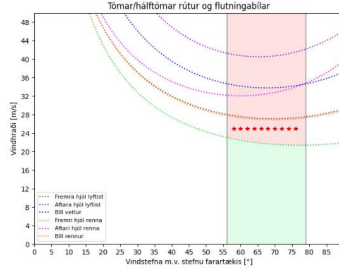
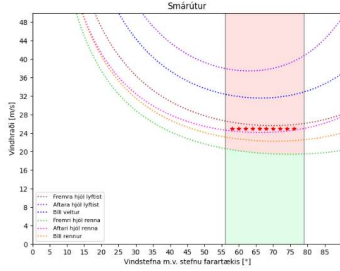
Flokkar farartækja

Flokkur 1: Smárútur. Hér er miðað við 6 tonna þyngd.
 Flokkur 2: Tómar/hálftómar rútur og flutningabílar. Hér er miðað við 13 tonna þyngd.
 Flokkur 3: Fullar rútur og flutningabílar. Hér er miðað við 19 tonna þyngd.

Athugasemd: Líkan þetta er ætlað til stuðnings ákvörðunar um lokun á vegum og skal ekki túlka sem alnákvæmar niðurstöður.

Aflestur grafa

Á grófunum má sjá að slysum er skipt niður í sex flokka. Lóðrétti borðinn er staðsettur miðað við hornið sem myndast milli stefnu farartækisins á ferð og vindáttarinnar. Mörk rauða og græna svæðisins liggja þar sem kritísk slysatengundin er staðsett. Þá tákna græna svæðið öruggt svæði en það rauða að hætta sé á slysi. Stjórnunarlíggja í gefnum vindhraða. Í 0° er vindur í stefnu beint framan á farartæki en í 90° er vindur í stefnu beint á hlið farartækis.



MYND 9 Hér má sjá vefviðmót líkansins þegar búíð er að keyra það með inntakspáttunum í efra vinstra horninu. Dæmið á skjáskotinu sýnir að aðstæður eru á hættusvæði fyrir smárútur og tómar/hálftómar rútur og flutningabíla. Fullar rútur og fullastaðir flutningabílar lenda á örugga svæðinu.

5 GREINING ÞEKKTRA SLYSATILFELLA MEÐ LÍKANI

Til þess að greina virkni og nákvæmni líkans er nauðsynlegt að prófa það með raunverulegum aðstæðum. Í þessu tilviki er því rétt að prófa reiknilíkanið miðað við umferðarslys þar sem vindur er stór þáttur. Svona slys eiga sér stað af og til á Íslandi og eru tvö slík tekin fyrir.

5.1 Rútuslys á Kjalarnesi

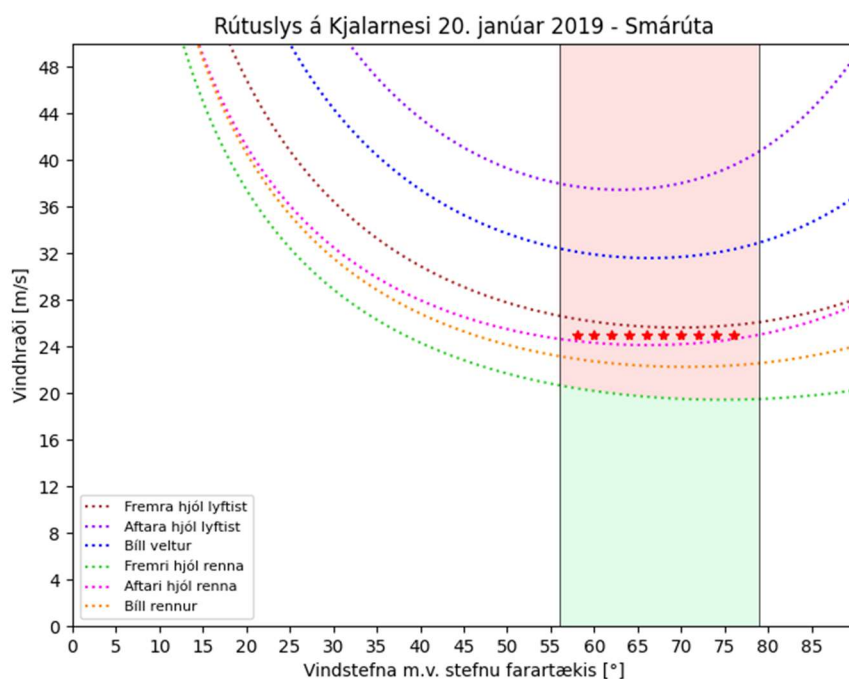
Fyrri slysið sem verður skoðað átti sér stað á Kjalarnesi þann 20. janúar 2019. Þar var slæmt veður og slæm færð sem leiddi til þess að rúta með tæplega 30 manns f auk á hliðina rétt fyrir kl. 19. Meiðsli á fólki voru minniháttar. Seinna sama kvöld fóru meira að segja önnur rúta og sjúkraflutningabíll út af á svipuðum slóðum [17]. Fengnar voru veðurupplýsingar frá Vegagerðinni, nánar tiltekið frá veðurstöð þeirra sem stendur næst slysstaðnum. Sú er við Blikdalsá og gaf að meðalvindur væri ASA 13 m/s og hitinn 1°C kl. 18:50 þennan dag. Hæsta vindhviðan í kringum þann tíma náði upp í 25 m/s.

Miðað við myndir frá Vegagerðinni úr vefmyndavél við Blikdalsá þetta kvöld var snjóþekja á svæðinu. Út frá þessum myndum og 1°C hitanum voru vegaðstæðurnar metnar sem „nýfallinn snjór“ eða sem núningstuðull upp á 0,3. Svo var gert ráð fyrir því að rútan hafi verið að keyra á hraðanum 80 km/klst.

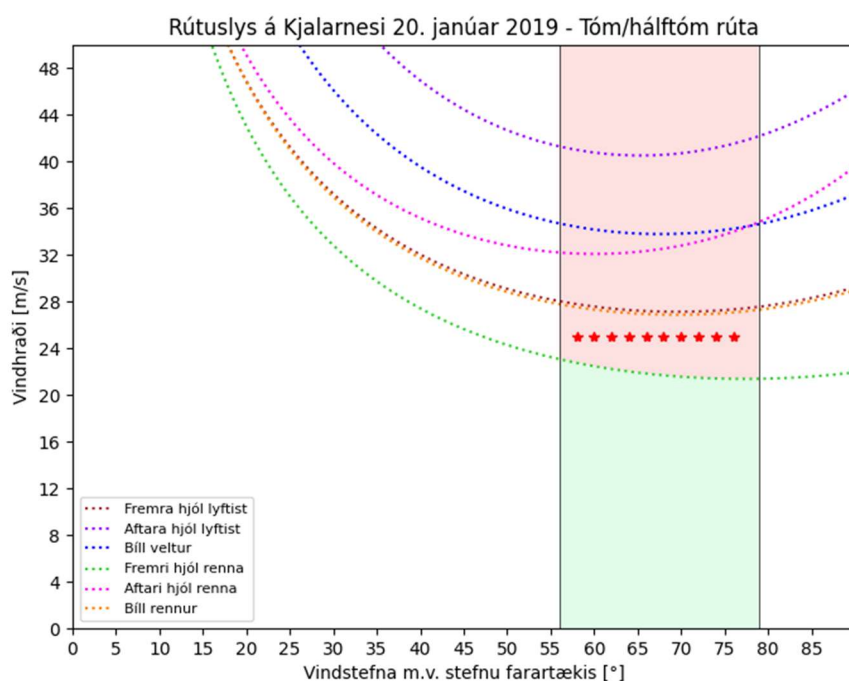
Þegar allir inntakspættir höfðu verið fundnir eða metnir var líkanið keyrt miðað við að átt vegarins sé í N/S. Líkt og í vefviðmótinu fengust þrjár myndir þar sem aðstæðurnar voru metnar fyrir hvern farartækjaflokk. Á **MYND 10** má sjá niðurstöður líkansins fyrir smárútu. Líkanið metur sem svo að hún hefði verið inni á hættusvæðinu, hefði hún verið á ferð á þessum slóðum. Ef litið er á þá staðreynd að sjúkrabíll fór út af veginum aðeins seinna sama kvöld passar þessi niðurstaða nokkuð vel.

Á **MYND 11** og **MYND 12** eru niðurstöður líkansins miðað við tóma eða hálfþóma rútu og svo fulla. Þar lendar hálfþóma rútan inni á hættusvæðinu en fulla rútan rétt fyrir utan það á örugga svæðinu. Þar sem rútan í slysinu sem um ræðir hafi tæplega 30 manns um borð væri hægt að staðsetja hana u.þ.b. á milli flokkanna tveggja og þar með nálægt mörkum öruggs- og hættusvæðis. Þetta rímar ágætlega miðað við aðstæðurnar sem voru fyrir hendi þetta kvöld.

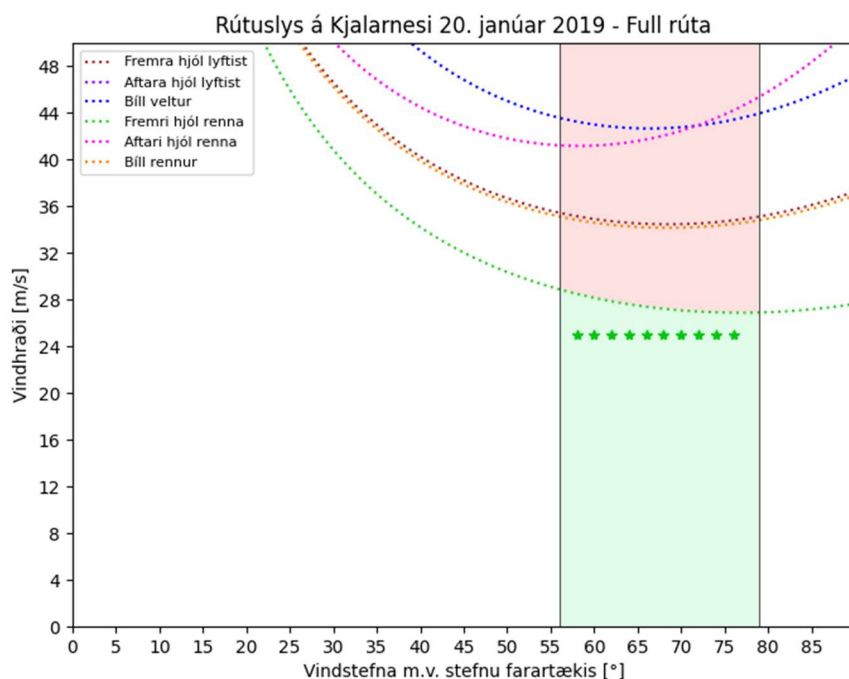
Að lokum má nefna að á öllum myndum er lægsti krítíski vindhraðinn þegar fremri hjól renna. Það gæti því verið að rútan hafi fyrst runnið á fremri öxli sínum og svo farið á hliðina.



MYND 10 Rútuslys á Kjalarnesi 20. janúar 2019. Hér er líkanið prófað miðað við smárútu ásamt gefnum og áætluðum aðstæðum. Niðurstaðan er sú að smárútan er inni á hættusvæði og því líklegt að hún hefði lent í slysi. Slysið sem líklegast er að hefði átt sér stað fyrst er að fremri hjólin myndu renna, þar er krítíski hraðinn lægstur.



MYND 11 Rútuslys á Kjalarnesi 20. janúar 2019. Hér er líkanið prófað miðað við tóma eða hálftóma rútu ásamt gefnum og áætluðum aðstæðum. Niðurstaðan er sú að rútan er inni á hættusvæði og því líklegt að hún hefði lent í slysi, sem gerðist. Miðað við líkanið er líklegast að fyrst hafi fremri hjól rútnnar runnið á veginum, því þar er krítíski hraðinn lægstur, og svo oltið eftir það.



MYND 12 Rútuslys á Kjalarnesi 20. janúar 2019. Hér er líkanið prófað miðað við fulla rútu ásamt gefnum og áætluðum aðstæðum. Niðurstaðan er sú að rútan er rétt fyrir utan hættusvæði og gæti því hafa sloppið við slys.

5.2 Rútuslys á Hellisheiði

Seinna slysið sem prófað var með líkaninu átti sér stað á Hellisheiði þann 25. janúar 2020, rétt fyrir klukkan níu um morguninn. Þar, líkt og í slysinu hér á undan, fóru fleiri en ein rúta út af veginum – ein stór og ein smárúta. Sú minni fór á hliðina. Sjá má mynd frá slystað hér á **MYND 13**.



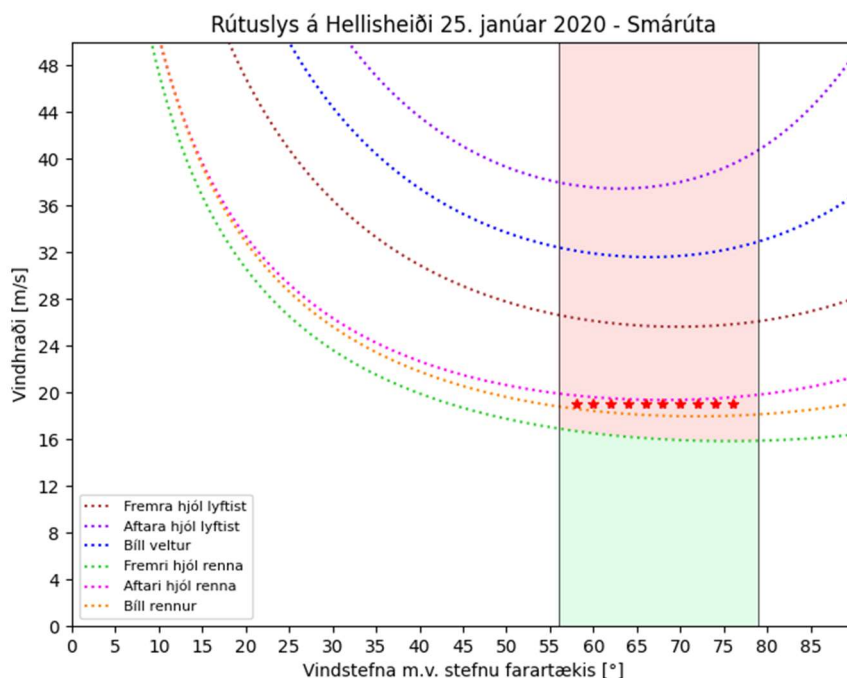
MYND 13 Mynd frá Ingvari Þór Björnssyni, RÚV [18]. Hér má sjá frá slystað á Hellisheiði þann 25. janúar 2020 þar sem smárúta fór út af og á hliðina og stór rúta út af veginum, aftar í mynd. Veðrið var vindasamt og færð nokkuð slæm.

Veðrið og aðstæður þennan morguninn voru ekki góðar; samkvæmt mælingum Veðurstofunnar var meðalvindur um NA 14 m/s og hæsta hviða 19 m/s á næstu veðurstöð kl. 9:00. Hitinn var -2°C og mikil hálka á vegum. Segir í frétt RÚV að rúturnar hafi fokið nánast í sömu hviðunni, samkvæmt varðstjóra slökkviliðsins. Samtals voru um 40 ferðamenn í rúturnum tveimur en aðeins minniháttar meiðsli urðu á þeim [18].

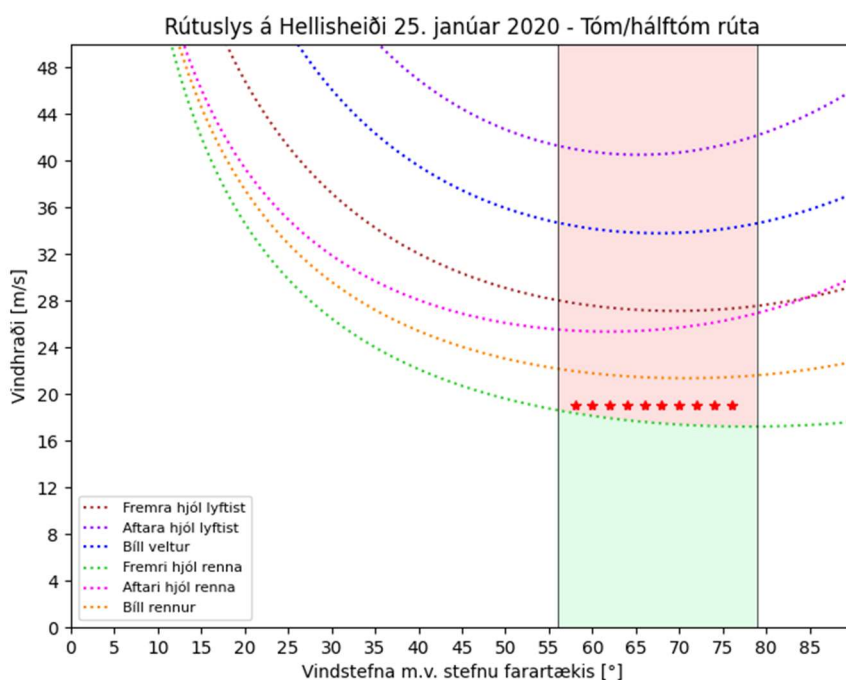
Út frá fréttamyndum var slysstaðurinn staðsettur á korti og ákvarðað að vegurinn sem um ræðir stefni í NNV/SSA átt. Einnig voru vegaðstæðurnar áætlaðar sem „þjappaður snjór“ eða sem núningsstuðull upp á 0,2. Svo, líkt og í fyrra slysinu, var gert ráð fyrir því að rúturnar hafi verið að keyra á um 80 km/klst hrað þegar slysin urðu.

Þegar allir inntakspættir höfðu verið fundnir eða metnir var líkanið keyrt og gaf út myndirnar þrjár, hver fyrir sinn farartækjaflokk. Á **MYND 14** má sjá niðurstöðurnar fyrir smárútu. Það gefur að hún lendi innan hættusvæðis og því ekki skrýtið að smárútan hafi lent út af veginum þennan morguninn. Líklegt er miðað við líkanið að hún hafi fyrst runnið til og oltið svo. Á **MYND 15** og **MYND 16** eru settar fram niðurstöðurnar fyrir tóma og hálfatóma rútu og svo fulla. Þar lendar hálfatóma rútan inni á hættusvæði en sú fulla utan þess. Miðað við þær upplýsingar að rúturnar tvær hafi haft um 40 manns innanborðs samtals er líklegt að stóra rútan hafi lent innan hálfatóma flokksins, eða rúmlega það. Þessar niðurstöður passa þá nokkuð vel við raunveruleikann. Einnig er möguleiki á því að sú hviða sem rúturnar lentu í hafi verið eitthvað hærri en 19 m/s.

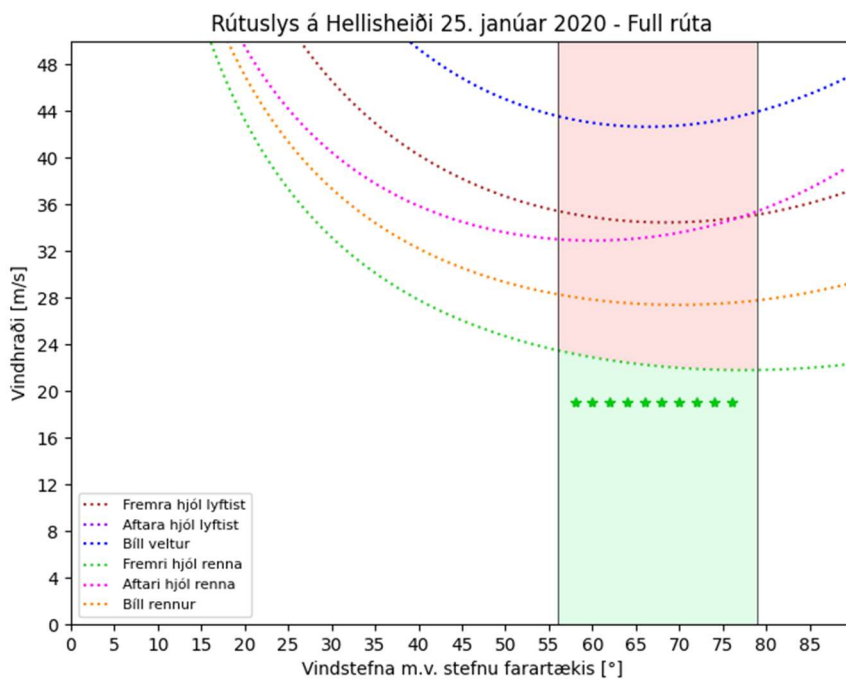
Að lokum má nefna, líkt og í fyrra slysinu, að allar niðurstöður gefa lægsta krítíska vindhraðann þegar fremri hjól renna. Þetta er yfirleitt niðurstaðan þegar mikil hálka er til staðar.



MYND 14 Rútuslys á Hellisheiði 25. janúar 2020. Hér er líkanið prófað miðað við smárútu ásamt gefnum og áætluðum aðstæðum. Niðurstaðan er sú að smárútan er inni á hættusvæði og því líklegt að hún hefði lent í slysi, sem gerðist. Slysið sem líklegast er að hafi átt sér stað fyrst er að fremri hjólin myndu renna, þar er krítíska hraðinn lægstur. Rútan hefur svo oltið eftir það.



MYND 15 Rútuslys á Hellisheiði 25. janúar 2020. Hér er líkanið prófað miðað við tóma eða hálftóma rútu ásamt gefnum og áætluðum aðstæðum. Niðurstaðan er sú að rútan er inni á hættusvæði og því líklegt að hún hefði lent í slysi, sem gerðist. Miðað við líkanið eiga fremri hjól rúttunnar að hafa runnið á veginum, því þar er kritíski hraðinn lægstur. Þegar slysið átti sér stað valt rútan ekki, heldur fór bara út af, svo það er líklega það sem átti sér stað.



MYND 16 Rútuslys á Hellisheiði 25. janúar 2020. Hér er líkanið prófað miðað við fulla rútu ásamt gefnum og áætluðum aðstæðum. Niðurstaðan er sú að rútan er fyrir utan hættusvæði og gæti því hafa sloppið við slysi. Miðað við þær upplýsingar að 40 manns hafi verið samtals í rúttunum tveimur er þó líklegra að rútan í þessu slysi hafi verið nær því að vera hálftóm.

6 TILLÖGUR AÐ FRAMHALDI

Nú þegar fyrsta áfanga verkefnisins er lokið er ljóst að byggja má töluvert ofan á það til þess að bæta það enn frekar. Margar hugmyndir um framhald þess hafa sprottið upp og er því óskandi að hægt verði að vinna áfram í því.

Fyrsta atriðið er að endurmeta og skoða nánar flokkun farartækjanna. Líkt og kunnugt er býður núverandi líkan upp á niðurstöður fyrir þrjá flokka; smárútur, tómar eða hálfþómar rútur og flutningabíla og fullar eða fulllestaðar rútur og flutningabíla. Hins vegar hefur Vegagerðin einnig þörf á því að meta hvort aðstæður séu hættulegar fyrir smærri farartæki, þ.e. einkabíla. Vegna þessa væri gott að leggjast í dýpri heimildaleit til þess að sjá hvort finna megi mat fyrir loftaflfræðilega formstuðla minni bíla.

Líkt og kemur fram í þessari skýrslu hefur núverandi líkan verið prófað fyrir fáein raunveruleg umferðarslys þar sem vindur kemur við sögu og er tveimur lýst í kaflanum hér á undan. Í framhaldi þessa verkefnis mætti prófa líkanið fyrir enn fleiri slys til þess að greina hversu vel það nær að lýsa mismunandi aðstæðum. Myndu þá vera fengin fleiri raunveruleg slysatilvik úr slysa grunnnum, þau greind og frávik tekin sérstaklega til skoðunar, skyldu þau koma upp.

Önnur hugmynd að endurbótum er að setja líkanið upp fyrir valda staði á landinu þar sem vitað er til þess að sterkur vindur sé tíður og valdi slysum í umferð. Þá væri skrásetningu á þessum stöðum safnað saman og sér í lagi skoðað hvað einkennir vindhviður á hverjum þeirra. Meðalvindhraði, hviðustyrkur og helstu vindáttir væru önnur atriði sem þyrfti að skoða vel á þessum stöðum. Með þessu mætti nýta veðurspár í líkaninu sem nauðsynlegt er til þess að Vegagerðin geti verið á undan veðrinu og ákveðið eins fljótt og mögulegt er hvenær þarf að loka vegum til þess að koma í veg fyrir slys.

Að síðustu mætti halda áfram að þróa viðmót líkansins. Það viðmót sem verður til úr vinnu þessa verkefnis verður afhent Þjónustudeild Vegagerðarinnar til prófunar. Það verður nýtt og skoðað í komandi vonskuveðri og þegar þarf að taka ákvarðanir um lokun vega. Í kjölfarið má greina hversu vel líkanið spáir fyrir um ákveðnar aðstæður. Þegar því tímabili lýkur má sjá hvað er gott og hverju má breyta eða bæta í viðmótinu og líkaninu sjálfu til þess að aðlaga það þörfum starfsmanna Þjónustudeildar Vegagerðarinnar.

Þetta verkefni er mikilvægt í okkar nútímasamfélagi og styður með beinum hætti við það hlutverk Vegagerðarinnar að stuðla að öruggum og hagkvæmum samgöngum á vegakerfi landsins. Bættur grundvöllur fyrir ákvarðanatöku um lokun vega er mikilvægur þáttur í starfi stofnunarinnar þar sem réttar tímasetningar á lokunum hafa mikla þýðingu, bæði út frá öryggis- og efnahagslegum sjónarmiðum. Því er mikilvægt að fá tækifæri til þess að halda áfram að þróa þetta verkefni.

7 HEIMILDASKRÁ

- [1] Rangar Sigbjörnsson og Jónas Þór Snæbjörnsson, „Probabilistic assessment of wind related accidents of road vehicles: A reliability approach“, Elsevier, 1998. Aðgengilegt á: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167610598000993> [Sótt 11. september 2019]
- [2] Jónas Þór Snæbjörnsson, C.J. Baker og Ragnar Sigbjörnsson, „Probabilistic assessment of road vehicle safety in windy environments“, Elsevier, 2007. Aðgengilegt á: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167610507000578> [Sótt 11. september 2019]
- [3] C.J. Baker og S. Reynolds, „Wind-induced accidents of road vehicles“, Elsevier, 1992. Aðgengilegt á: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0001457592900098> [Sótt 11. nóv. 2019]
- [4] C.J. Baker, „Measures to control vehicle movement at exposed sites during windy periods“, Elsevier, 1987. Aðgengilegt á: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167610587900134> [Sótt 28. mars 2020]
- [5] Skúli Þórðarson og Jónas Þór Snæbjörnsson, „Umferðarslys og vindafar: Áfangaskýrsla I“, Orion Ráðgjöf ehf., 2004. Aðgengilegt á: [http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Rannum03_Vindafar_Orion/\\$file/Orion_Vindafar_03.pdf](http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Rannum03_Vindafar_Orion/$file/Orion_Vindafar_03.pdf) [Sótt 11. sept. 2019]
- [6] Milan Batista og Marko Perkovič, „A simple static analysis of moving road vehicle under crosswind“, Elsevier, 2014. Aðgengilegt á: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167610514000427> [Sótt 11. sept. 2019]
- [7] J.Y. Wong, „Theory of Ground Vehicles“, New York: John Wiley, 2001.
- [8] Xiaoyu Zhang, „Crosswind stability of vehicles under nonstationary wind excitation“, KIT Scientific Publishing, 2015. Aðgengilegt á: <https://books.google.is/books?id=EEtwCQAAQBAJ&hl=is> [Sótt 4. Febrúar 2020]

- [9] C.J. Baker, „The quantification of accident risk for road vehicles in cross winds“, Elsevier, 1994. Aðgengilegt á: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167610594900418> [Sótt 15. janúar 2020]
- [10] [Án höfundar], „Rútur: Bílarnir okkar“, Hópbílar hf., [Án ártals]. Aðgengilegt á: <https://hopbilar.is/is/rutur/> [Sótt 6. febrúar 2020]
- [11] Eymundur Runólfsson, Guðmundur Heiðreksson og Jón Helgason, „Veghönnunarreglur“, Vegagerðin, 2010. Aðgengilegt á: [http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/8d461983982f539900256935003eac25/4cfa118c98c513b9002577c800567ba8/\\$FILE/VhRg2010_heildarutg_b.pdf](http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/8d461983982f539900256935003eac25/4cfa118c98c513b9002577c800567ba8/$FILE/VhRg2010_heildarutg_b.pdf) [Sótt 1. október 2019]
- [12] Ekuase Austin, Aduloju Sunday Christopher, Ogenekaro Peter, Ebhota Williams Saturday, Dania David E., „Determination of Center of Gravity and Dynamic Stability Evaluation of a Cargo-type Tricycle“, American Journal of Mechanical Engineering 3, no. 1, 2015. Aðgengilegt á: <http://pubs.sciepub.com/ajme/3/1/5/index.html#> [Sótt 7. febrúar 2020]
- [13] [Án höfundar], „Power Daily: Minibus A42.13, Twin Rear Wheels“, IVECO, 2010. Aðgengilegt á: https://www.iveco.com/africa-mideast-en/collections/technical_sheets/Documents/Power%20Daily/MINIBUS/A42.13_EN_rel4.pdf [Sótt 10. október 2019]
- [14] Bryan Maddock, „Coach Buses“, Dimensions.guide, 2019. Aðgengilegt á: <https://www.dimensions.guide/element/coach-buses> [Sótt 10. október 2019]
- [15] Þjónustudeild Vegagerðarinnar, „Handbók um vetrarþjónustu“, Vegagerðin, 2012. Aðgengilegt á: [https://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/handbok_vetrarthjonustu/\\$file/Handb%C3%B3k%20vetrar%C3%BEj%C3%B3nustu.pdf](https://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/handbok_vetrarthjonustu/$file/Handb%C3%B3k%20vetrar%C3%BEj%C3%B3nustu.pdf) [Sótt 7. október 2019]
- [16] John Potter, „Angular vs. React vs. Vue“, Npm Trends, 2020. Aðgengilegt á: <https://www.npmtrends.com/angular-vs-react-vs-vue> [Sótt 28. mars 2020]
- [17] Birgir Olgeirsson og Vésteinn Örn Pétursson, „Tvær rútur og sjúkrabíll út af á Kjalarnesi“, Vísir, 20. janúar 2019. Aðgengilegt á: <https://www.visir.is/g/2019190129935/tvaer-rutur-og-sjukrabill-ut-af-a-kjalarnesi> [Sótt 26. mars 2020]
- [18] Ásrún Brynja Ingvarsdóttir, „Hellisheiði: Rútur fuku út af veginum“, RÚV, 25. janúar 2020. Aðgengilegt á: <https://www.ruv.is/frett/hellisheidi-rutur-fuku-ut-af-veginum> [Sótt 27. janúar 2020]