



Vindaðstæður við brýr

Hermun á vindsviði til stuðnings hönnunarviðmiðum

Verkefni stutt af

Rannsóknarsjóði Vegagerðarinnar

22.16

Desember 2022

Verkfræðistofan Vatnaskil

Síðumúli 28

108 Reykjavík

s. 512-2121

vatnaskil@vatnaskil.is

www.vatnaskil.is



Skýrsla nr: 22.16	Útgefið: Desember 2022	Fjöldi síðna: 22	Dreifing: Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/>
----------------------	---------------------------	---------------------	--

Heiti skýrslu:

Vindaðstæður við brýr. Hermun á vindsviði til stuðnings hönnunarviðmiðum.

Höfundar:

Darri Kristmundsson, Sveinn Óli Pálmarsson

Verkefnisstjóri:

Sveinn Óli Pálmarsson

Útdráttur:

Óhagstæðar og jafnvel hættulegar vindaðstæður geta skapast við brýr. Mikilvægt er er að huga vel að hönnun brúa, m.a. til að auka skjól og draga úr skörpum vindhraða- og stefnubreytingum eins og kostur er. Enn fremur að horfa heildstætt til staðsetningar, legu og lögun brúarmannvirkja og frágangi við brúarenda og nærumhverfi.

Greint er frá rannsóknarverkefni þar sem lagt var upp með að meta nýtingarmöguleika vindafarshermana til bætingar hönnunarviðmiða og taka skref í þá átt í gegnum raunverulegt sýnidæmi valið í samráði við Vegagerðina. Lagt er þannig upp með að meta vindaðstæður við brýr og nærumhverfi þeirra, sem og marka mögulegar leiðir til að draga úr óhagstæðum skilyrðum og þannig minnka slyshættu og auka umferðaröryggi.

Fyrir sýnidæmi verkefnisins var valin brú yfir Norðurá í Borgarfirði við Fornahvamm, en þar hafa orðið fjölmörg alvarleg slys á liðnum árum. Greint er frá forsendum líkangerðarinnar og hermun valinna veðurtilfella. Meginniðurstöður hermananna eru dregnar fram, settar í samhengi við reynslu Vegagerðarinnar af þeim aðstæðum sem skapast við brúna og ályktanir dregnar um hugsanlegar mótvægisáðgerðir sem vert væri að skoða.

Niðurstöður verkefnisins gefa hönnuðum innsýn í þær aðstæður sem geta myndast við brýr og hvernig horfa megi til frágangs við þá til að auka umferðaröryggi. Fjallað er um nýtingarmöguleika hermananna við undirbúning, viðhald og rekstur brúarmannvirkja á þjóðvegum landsins.

Aðferðarfræðinni sem beitt er við hermanir á vindafari getur eftt hönnunarviðmið Vegagerðarinnar, sér í lagi á viðkvæmun svæðum líkt og við brúarstæði.

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

Verkkaupi:

Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar

Tengiliður verkkaupa:

Margrét Silja Þorkelsdóttir

Lykilorð:

Vindafar, brýr, hönnunarviðmið, slyshætta, umferðaröryggi, Norðurá, Fornihvammur



Efnisyfirlit

Efnisyfirlit	4
1. Inngangur	5
2. Forsendur	7
2.1. Aðstæður við brúarstæði	7
2.2. Slysáttburðir	7
2.3. Veðurfar tengt atburðum.....	7
2.4. Uppsetning líkans.....	14
3. Niðurstöður.....	15
3.1. Vindsvið á stórum skala	15
3.2. Aðstæður við brú	17
4. Umræður.....	21
5. Niðurlag.....	22



1. Inngangur

Óhagstæðar og jafnvel hættulegar vindaðstæður geta skapast við brýr. Sumir staðir eru vindasamari en aðrir, þar getur vindstyrkur magnast upp og sterkar hviðumyndanir fylgt í kjölfarið. Vindálag á bifreiðar eykst með vindhraða í öðru veldi og því er mikilvægt að draga úr vindhraða eins og hægt er til að minnka líkur á að öikumenn missi stjórn á farartækjum sínum. Í ofanálag geta skarpar breytingar á vindhraða og vindstefnu, bæði tímaháðar og staðbundnar, verið varasamar. Slíkar breytingar geta komið öikumanni úr jafnvægi með alvarlegum afleiðingum. Að auki geta vetraraðstæður, svo sem hálka og snjósöfnun dregið úr veggripi og þar af leiðandi þarf minni vindstyrk til að skapa varasamar aðstæður fyrir öikumenn.

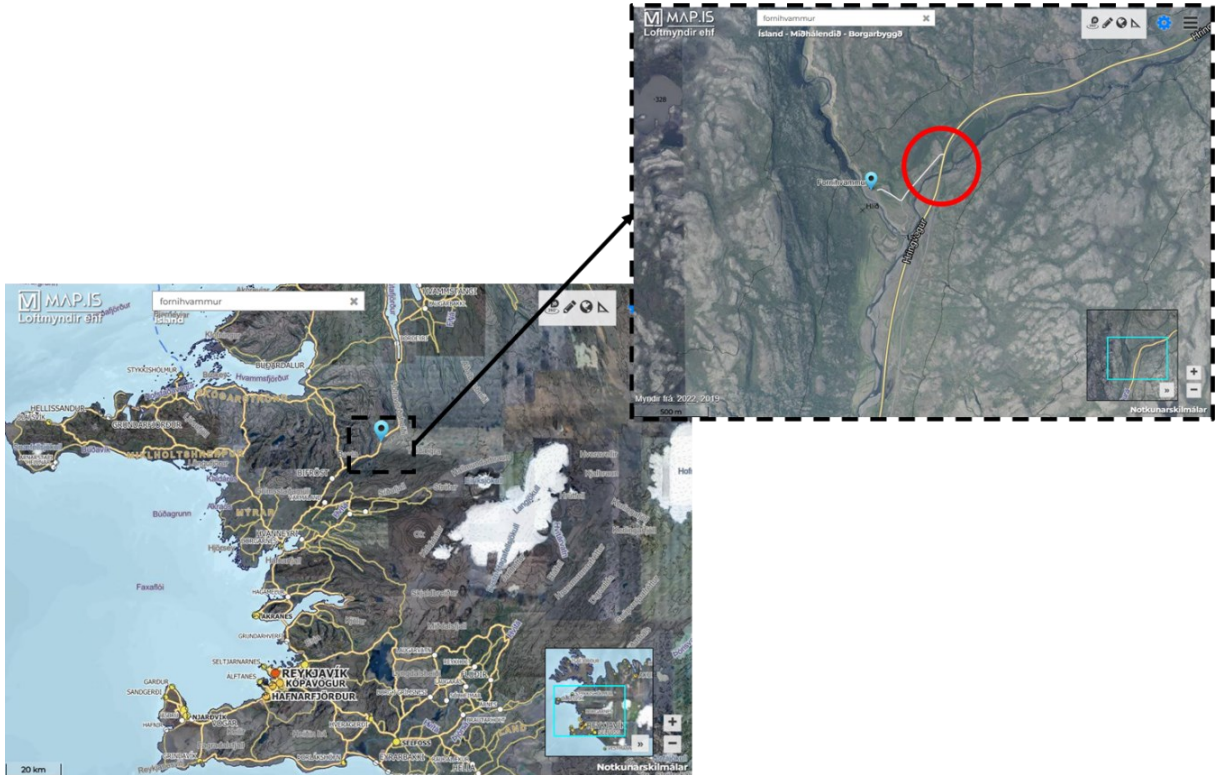
Mikilvægt er að huga vel að hönnun brúa á slíkum stöðum til að auka skjól og draga úr skörpum vindhraða- og stefnubreytingum eins og kostur er. Enn fremur þarf að horfa heildstætt til staðsetningar, legu og lögun brúarmannvirkja sem og frágangi við brúarenda og nærumhverfi.

Til þessa hefur Vegagerðin ekki nýtt sérstaklega vindafarshermanir til að kortleggja vindafar í nærliggjandi umhverfi brúa eða við hönnun brúa og hugsanlegra mótvægisáðgerða. Þörf er engu að síður til staðar við að auka skilning á vindafari í nágrenni brúa og efla hönnunarviðmið til að fyrirbyggja óhagstæðar vindaðstæður við brýr.

Vatnaskil hafa langa reynslu af vindafarshermunum á mismunandi stigum verkefna og mismunandi stærðarskölum og hafa m.a. reiknað vindsvið við mannvirki í flóknu landslagi og metið virkni mótvægisáðgerða við slíkar aðstæður. Mikil og stöðug þróun er á þessu sviði sem eykur sífellt möguleika á úrlausn flókinna vindafarsverkefna.

Með rannsóknarverkefninu sem hér er greint frá var lagt upp með að meta nýtingarmöguleika vindafarshermana til bætingar hönnunarviðmiða og taka skref í þá átt í gegnum raunverulegt sýnidæmi valið í samráði við Vegagerðina. Lagt er þannig upp með að meta vindálag við brýr og nærumhverfi þeirra, sem og að marka mögulegar leiðir til að draga úr óhagstæðum skilyrðum, draga úr slyshættu og auka umferðaröryggi. Enn fremur að nýta styrk slíkra hermana við að birta niðurstöður útreikninga á myndrænan máta sem auðveldar greiningu á álagspunktum og varhugaverðum aðstæðum sem skapast geta við brýr í sterku vindsviði.

Fyrir sýnidæmi verkefnisins var valin brú yfir Norðurá í Borgarfirði við Fornahvamm (mynd 1), en þar hafa orðið fjölmörg alvarleg slys undanfarin ár. Í umfjölluninni að neðan er greint frá forsendum líkangerðarinnar, uppsetningu líkansins og hermunartilfellum. Dregnar eru síðan fram meginniðurstöður hermananna, þær settar í samhengi við reynslu Vegagerðarinnar af þeim aðstæðum sem skapast við brúna, og ályktanir dregnar um hugsanlegar mótvægisáðgerðir sem vert væri að skoða. Að lokum er fjallað um nýtingarmöguleika hermananna við undirbúning, viðhald og rekstur brúarmannvirkja á þjóðvegum landsins og til eflingar hönnunarviðmiða Vegagerðarinnar.



Mynd 1: Brú yfir Norðurá í Borgarfirði við Fornahvamm.



2. Forsendur

2.1. Aðstæður við brúarstæði

Vegagerðin afhendi teikningar af brúnni yfir Norðurá við Fornahvamm ásamt veðurmælingum úr veðurrita á Holtavörðuheiði. Enn fremur var fundað með Vegagerðinni til að fá innsýn í aðstæður á staðnum. Vísbendingar hafa verið upp um að brúin væri of lág og að halli hennar ekki heppilegur. Í flóðum fer vatnið gjarnan upp í brúargólf og á vetrum skefur snjó í farveginn, gjarnan í austlægum vindáttum, þannig að skafll myndast út frá syðri brúarendanum. Hann getur orðið það stór að það fyllist í brúaropið. Almennt séð eru um 3 m niður á vatnsborð frá brú.

Brúarstæðið er í stöllu landi þar sem er sviptivindasamt. Getur verið slæmt í suðlægum áttum en verst í austlægum áttum.

2.2. Slysaatburðir

Notast var við slysakort Samgöngustofu¹ til að finna umferðarslys við brúna yfir Norðurá við Fornahvamm. Við skoðun fundust fjórir atburðir þar sem slys sem leiddu til meiðsla áttu sér stað á eða við brúna. Þessa atburði má sjá listaða í Tafla 1.

Tafla 1: Útlistun atburða sem eru til viðmiðunar við greiningu.

	Dagsetning	Lýsing
Atburður 1	12.1.2014	Árekstur tveggja bifreiða á brú
Atburður 2	10.2.2020	Ekið út af norðan við brú
Atburður 3	25.2.2020	Ekið á vegrið norðanmegin
Atburður 4	17.12.2020	Ekið á vegrið á brú

2.3. Veðurfar tengt atburðum

Engar beinar mælingar er að finna fyrir vindaðstæður við brúna yfir Norðurá, en Vegagerðin rekur veðurrita á Holtavörðuheiði sem nota má til að meta aðstæður niðri í dalnum.

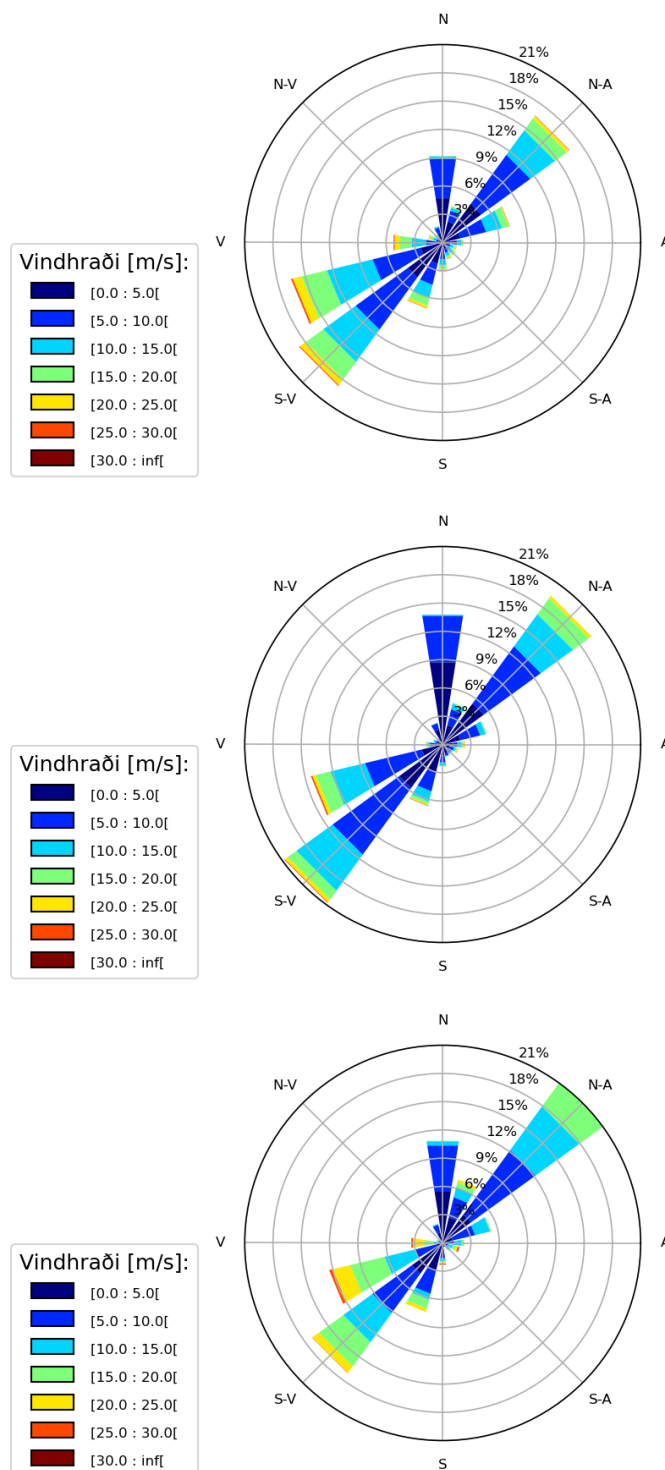
Vindatlas Veðurstofunnar² var notaður til að skoða samhengi vinds á Holtavörðuheiði og niðri við Fornahvamm. Vindsviðið í nágrenni Fornahvamms snýst almennt um 30° réttis frá því sem mælist á Holtavörðuheiði, sér í lagi fyrir norðlægar áttir. Þeim snúningi var beitt á öll mæligögn frá Holtavörðuheiði til mats á vindi í nágrenni Fornahvamms og greint er frá í þessari skýrslu.

Á

Mynd 2 má sjá vindrósir yfir vetrarmánuðina desember, janúar og febrúar fyrir þau ár sem viðmiðunaratburðirnir (tafla 1) áttu sér stað sem og fyrir 30 ára tímabil til samanburðar.

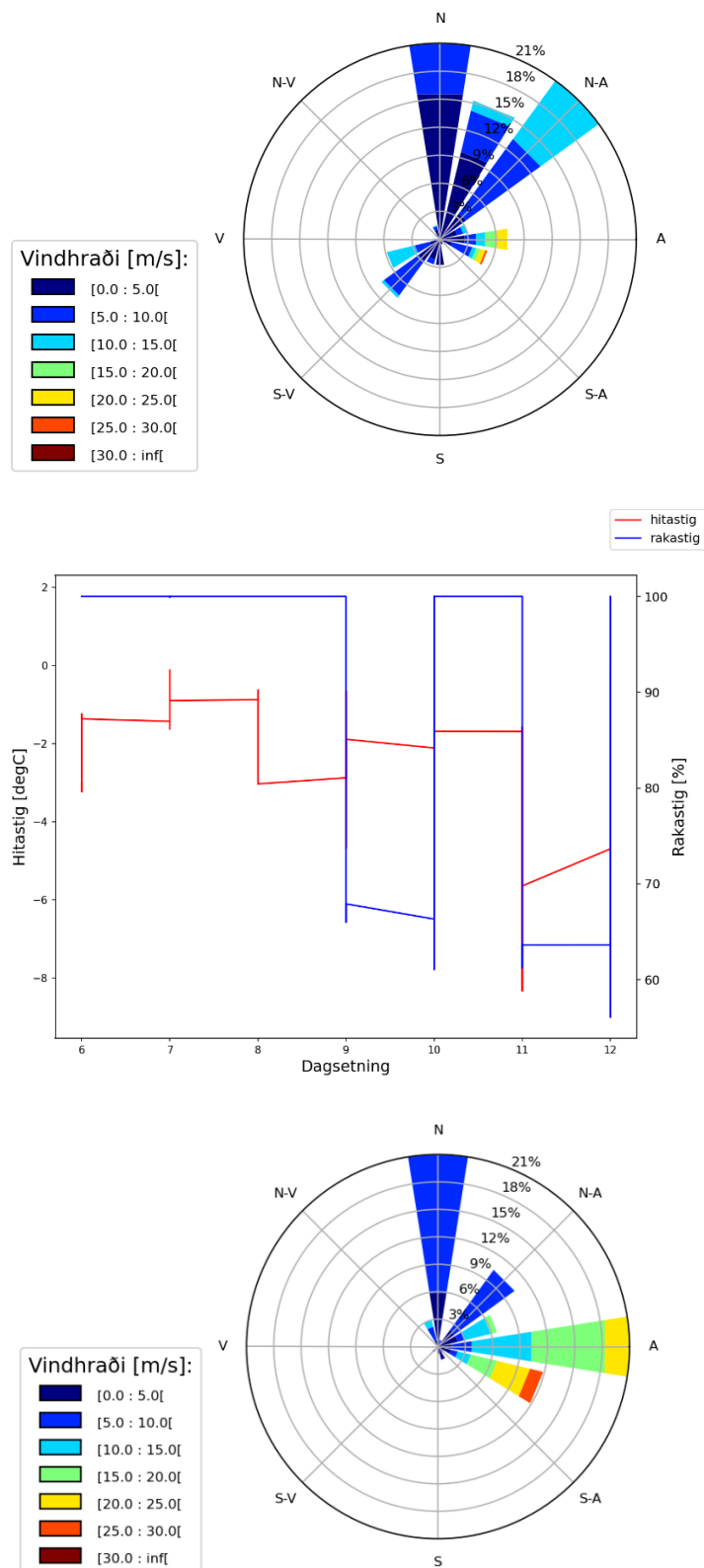
¹ <https://map.is/samgongustofa/>

² <https://vindatlas.vedur.is/>

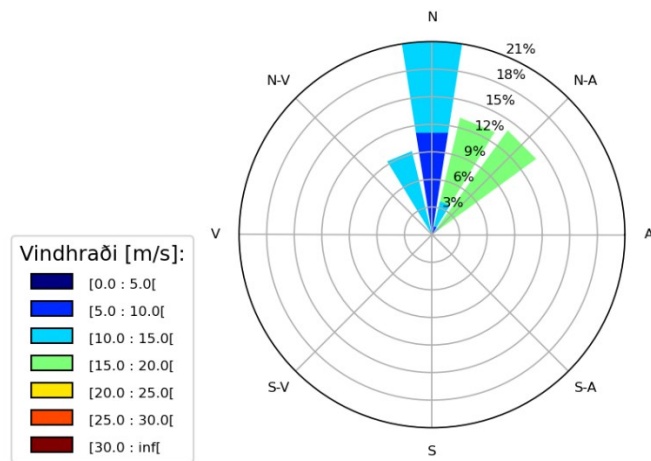
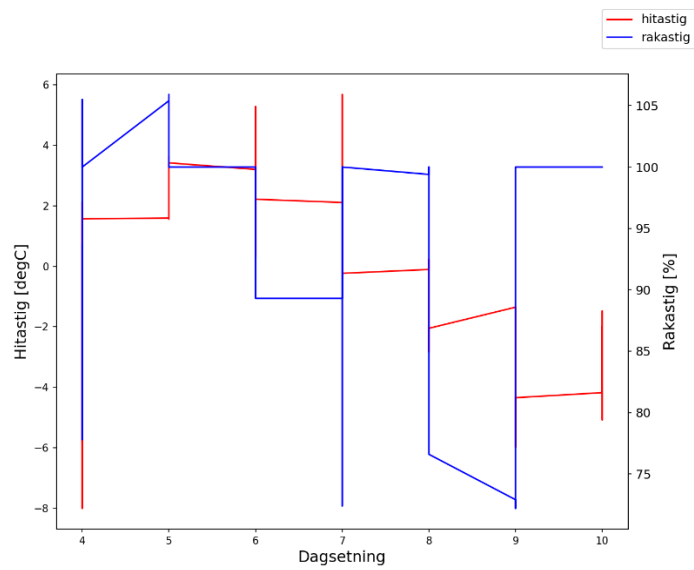
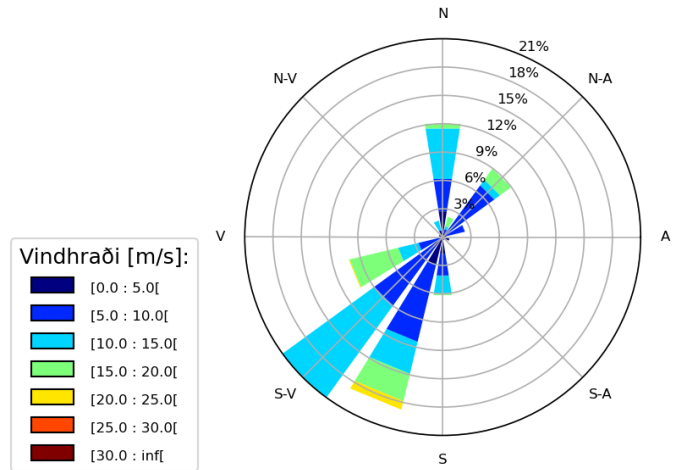


Mynd 2: Vindrósir fyrir vetrarmánuði desember, janúar og febrúar árin 1992-2022 (efst), 2014 (miðja) og 2022 (neðst).

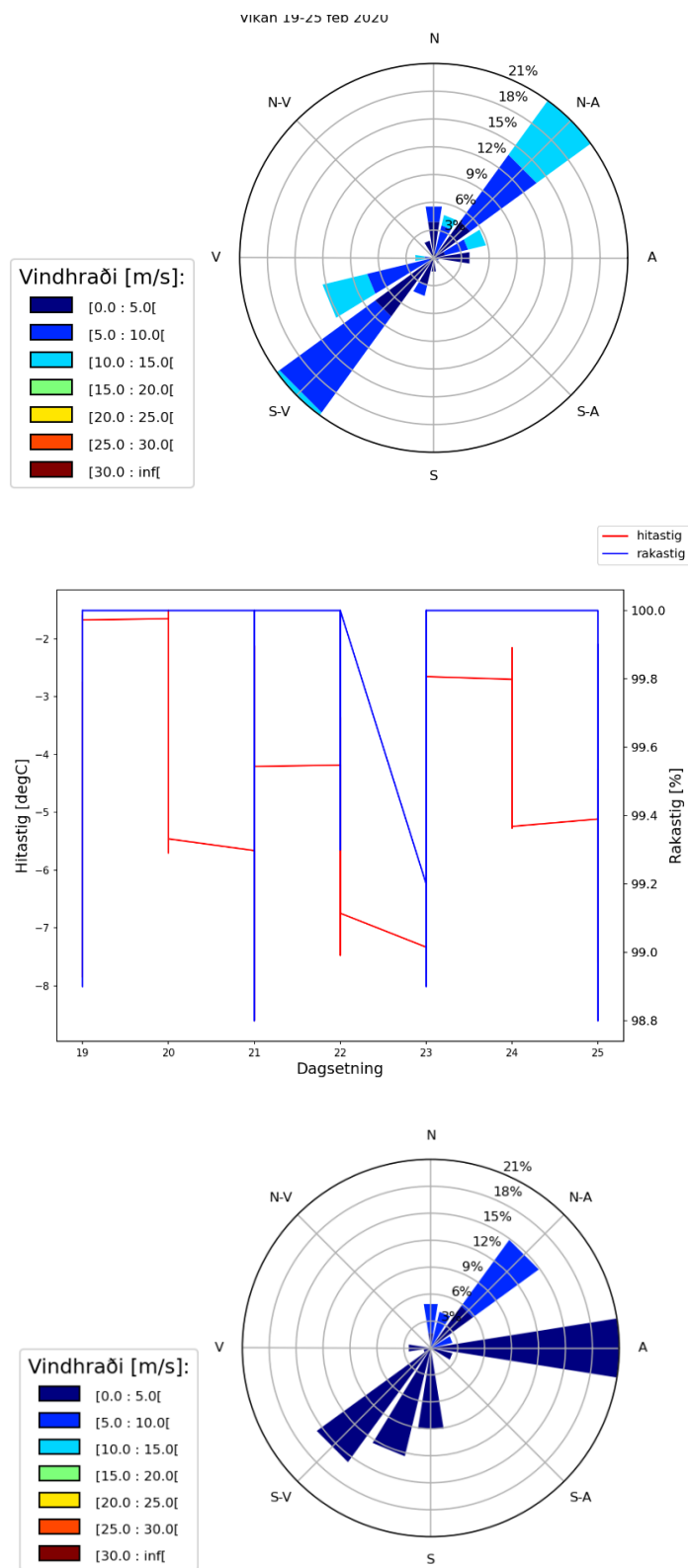
Á Mynd 3 til og með Mynd 6 má sjá vindrós vikunar fyrir atburði ásamt hitastigi og rakastigi þá viku, sem og vindrós samdægurs atburði.



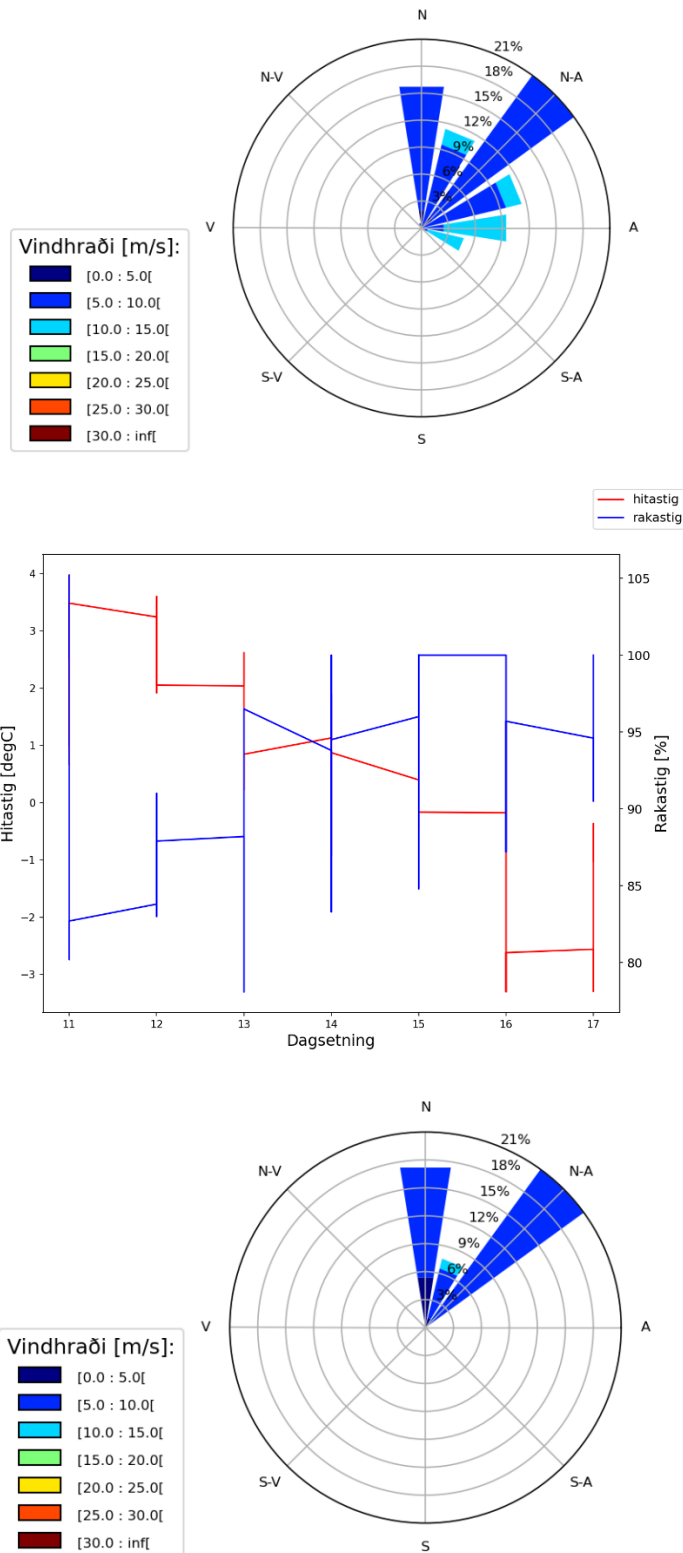
Mynd 3: Vindrós vikuna fyrir atburð 12. janúar 2014 (efst), hita- og rakastig vikuna fyrir atburðinn (miðja) og vindrós daginn sem atburður átti sér stað (neðst).



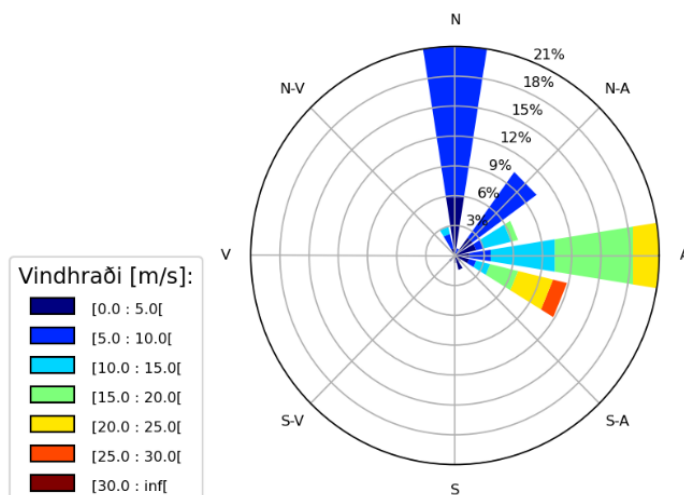
Mynd 4: Vindrós vikuna fyrir atburð 10. febrúar 2020 (efst), hita- og rakastig vikuna fyrir atburðinn (miðja) og vindrós daginn sem atburður átti sér stað (neðst).



Mynd 5: Vindrós vikuna fyrir atburð 25. febrúar 2020 (efst), hita- og rakastig vikuna fyrir atburðinn (miðja) og vindrós daginn sem atburður átti sér stað (neðst).



Mynd 6: Vindrós vikuna fyrir atburð 17.desember 2020 (efst), hita- og rakastig vikuna fyrir atburðinn (miðja) og vindrós daginn sem atburður átti sér stað (neðst).



Mynd 7: Samantekt á vindrós á öllum fjórum atburðadögum.

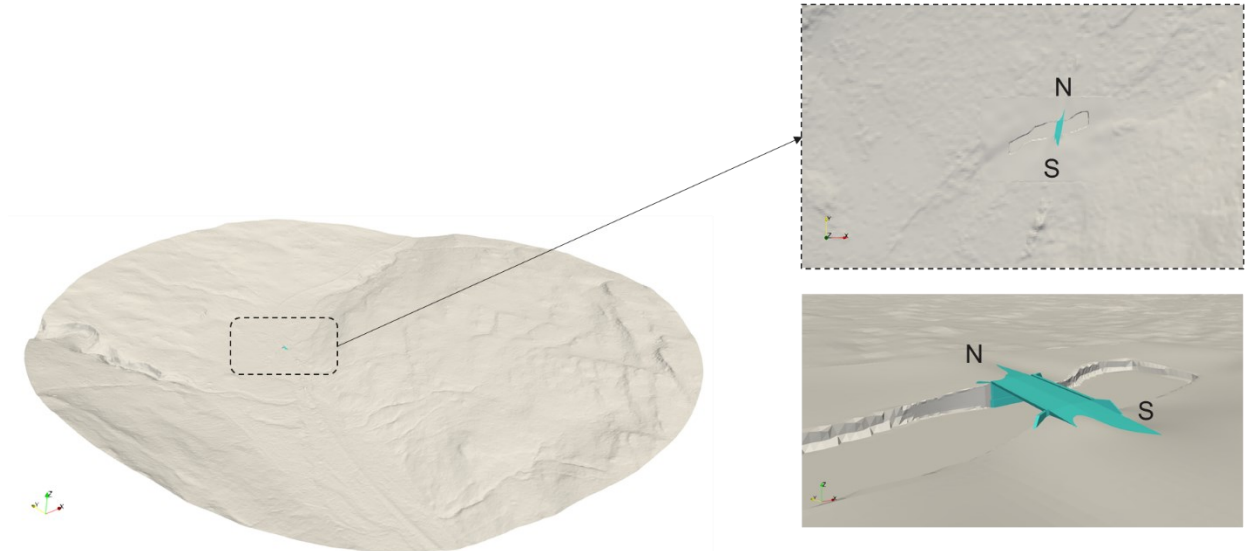
Í öllum tilfellum var frost og raki vikuna fyrir atburði, sem bendir sterklega til þess að ísing hafi verið á vegi sem og mögulegur skafrenningur, sem gæti hafa fyllt undir brúna með snjó. Ríkjandi vindátt yfir vetrarmánuðina öll árin er norðaustanátt, en sterk austanátt er algeng á atburðadögum, eins og sjá má á Mynd 7.

Út frá greiningu á veðurfari hér að ofan má álykta að bæði austan- og norðaustan áttir eru mikilvægar gagnvart greiningu á aðstæðum, og voru báðar vindáttir því greindar í líkaninu.



2.4. Uppsetning líkans

Við uppsetningu líkans var notast við ÍslandsDEM³ landlíkan þar sem upplausn er 2x2 m. Grafið var úr kortinu fyrir árfarvegi í nágrenni brúarstæðis, og brú teiknuð í smáatriðum og skeytt inn í landlíkanið, eins og sjá má á Mynd 8.



Mynd 8: Landlíkan og brú.

Nú er vitað til þess að snjór safnist undir brúna og loki jafnvel brúaropin. Slík lokun hefur mikil áhrif á vindasviðið í kring um brúna og því var gert ráð fyrir lokun undir brúna í líkaninu.

Hermd tilfelli voru því fjögur:

- Norðaustanátt, opið undir brú
- Norðaustanátt, lokað undir brú
- Austanátt, opið undir brú
- Austanátt, lokað undir brú

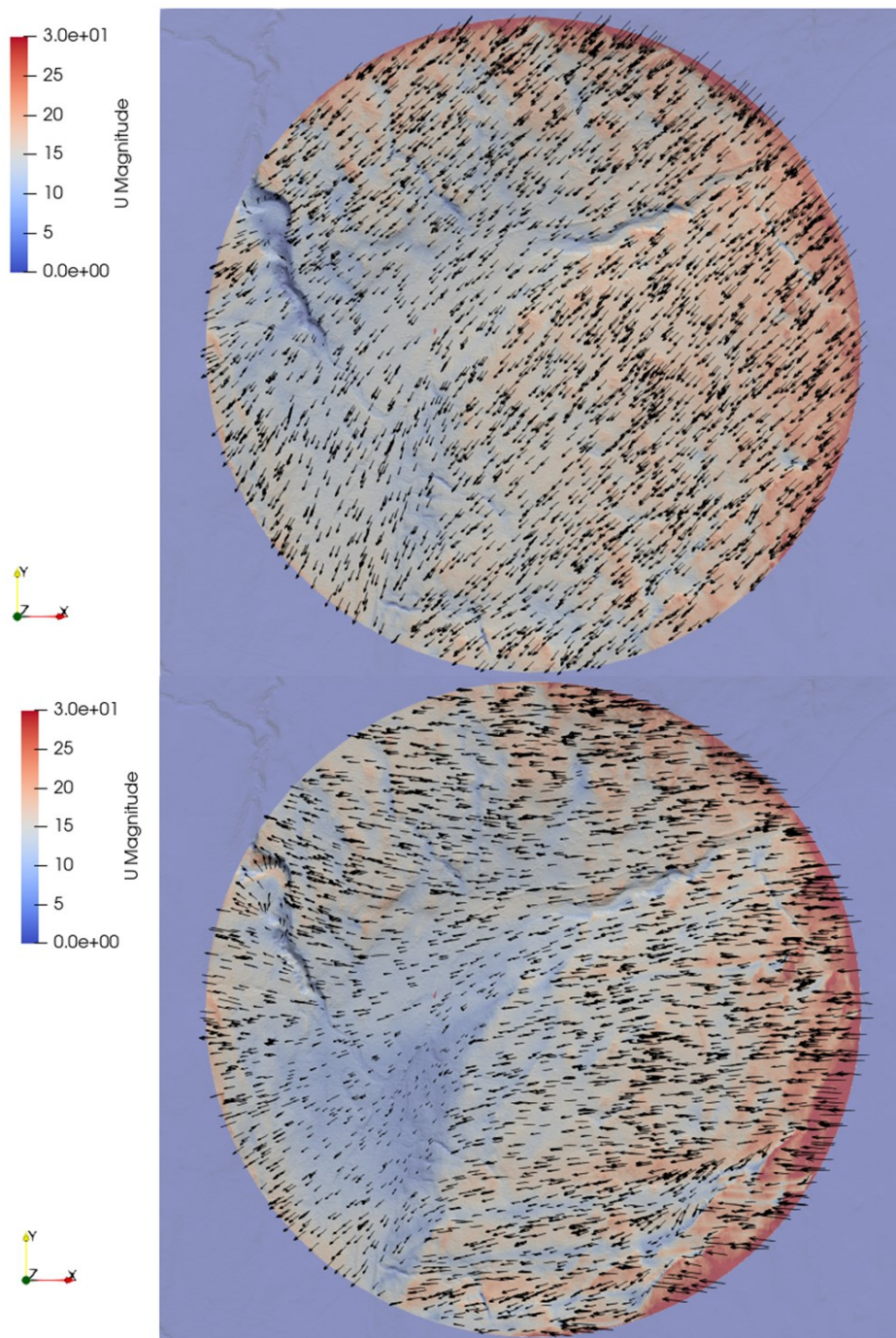
Vindrós á Mynd 7 gefur til kynna að algengasti vindstyrkur við atburði sé um 15 m/s, sem var notað sem viðmið í líkaninu í 2 m hæð yfir jörðu.

³ <https://atlas.lmi.is/mapview/?application=DEM>

3. Niðurstöður

3.1. Vindsvið á stórum skala

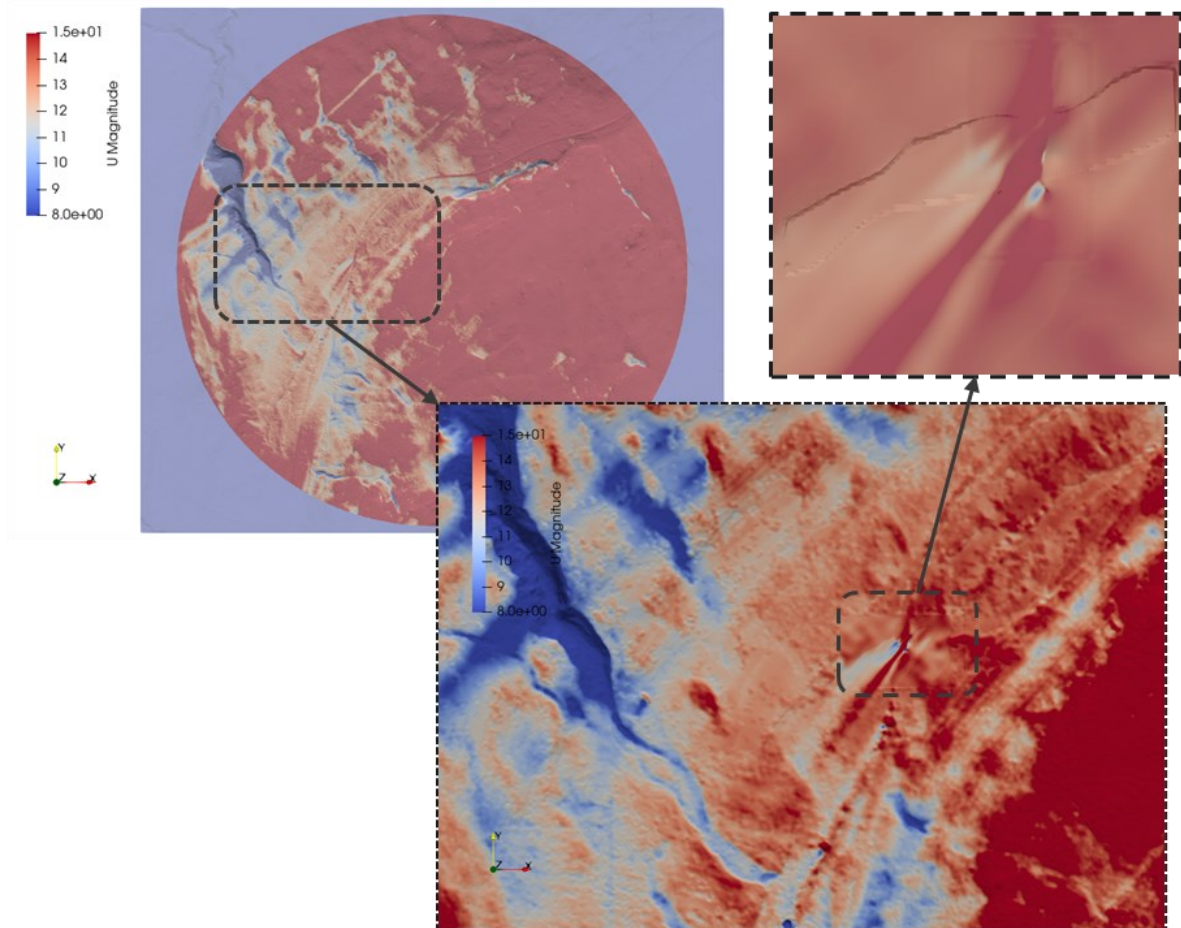
Á Mynd 9 má sjá reiknað vindafar í 2 m hæð í norðaustan og austan áttum. Talsverður munur er á vindafari við jörð inni í dalnum í þessum vindáttum, en holtið austan við veginn myndar stórt skjólsvæði í austanátt sem ekki er til staðar í norðaustanátt, en þá nær vindurinn betur að fylgja landslaginu.



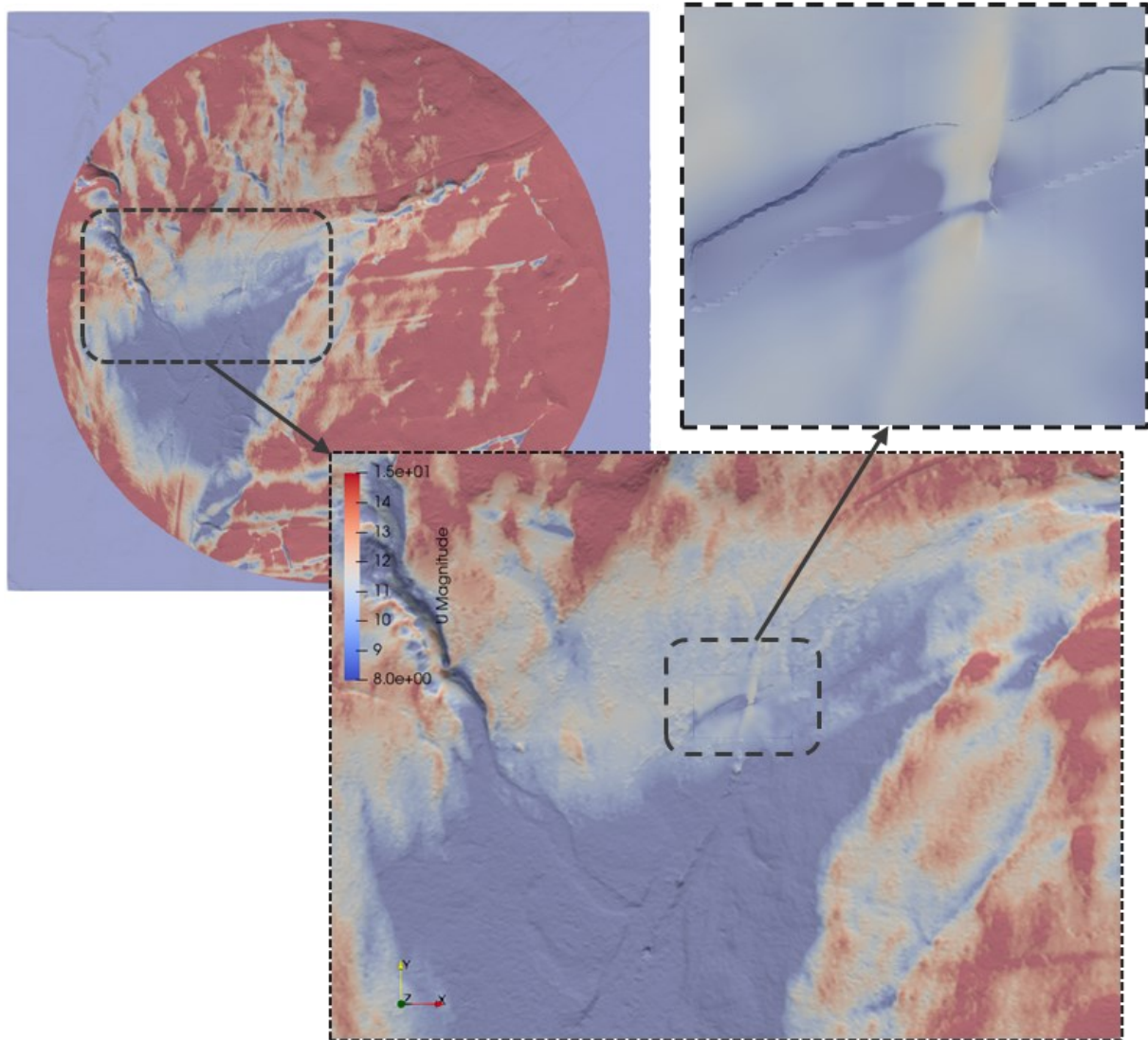
Mynd 9: Reiknað vindsvið í norðaustanátt (efri) og austanátt (neðri).



Ef nánar er litið á vindsviðið nærri brúnni yfir Norðurá þá má sjá á Mynd 10 og Mynd 11 að frekar skörp skil eiga sér stað í vindstyrk við syðri enda brúar í austanátt, eitthvað sem ekki sést í norðaustanátt þar sem vindálagið er mun jafnara í dalnum.



Mynd 10: Vindstyrkur í 2 m hæð yfir jörðu í nágrenni brúar í norðaustanátt.

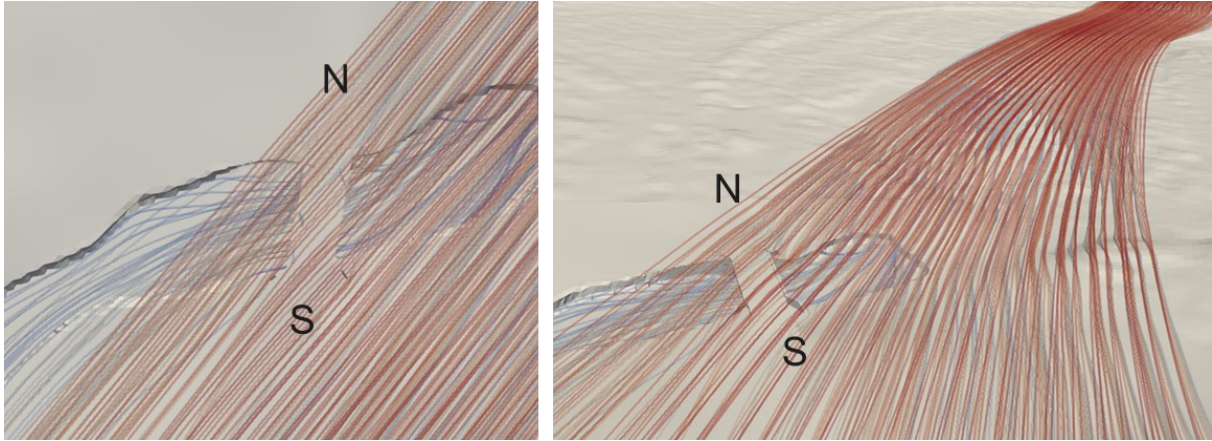


Mynd 11: Vindstyrkur í 2 m hæð yfir jörðu í nágrenni brúar í austanátt.

Þar sem austanátt hefur verið algeng á atburðadögum má leiða líkur að því að aðdragandi slysa hafi verið slíkur að bifreið sem ekið er að sunnan komi að brúnni í skjóli holtsins, en við komuna að brúnni tekur skyndilega við sterkur hliðarvindur. Þessi skörpu skil skapa hættulegar akstursaðstæður.

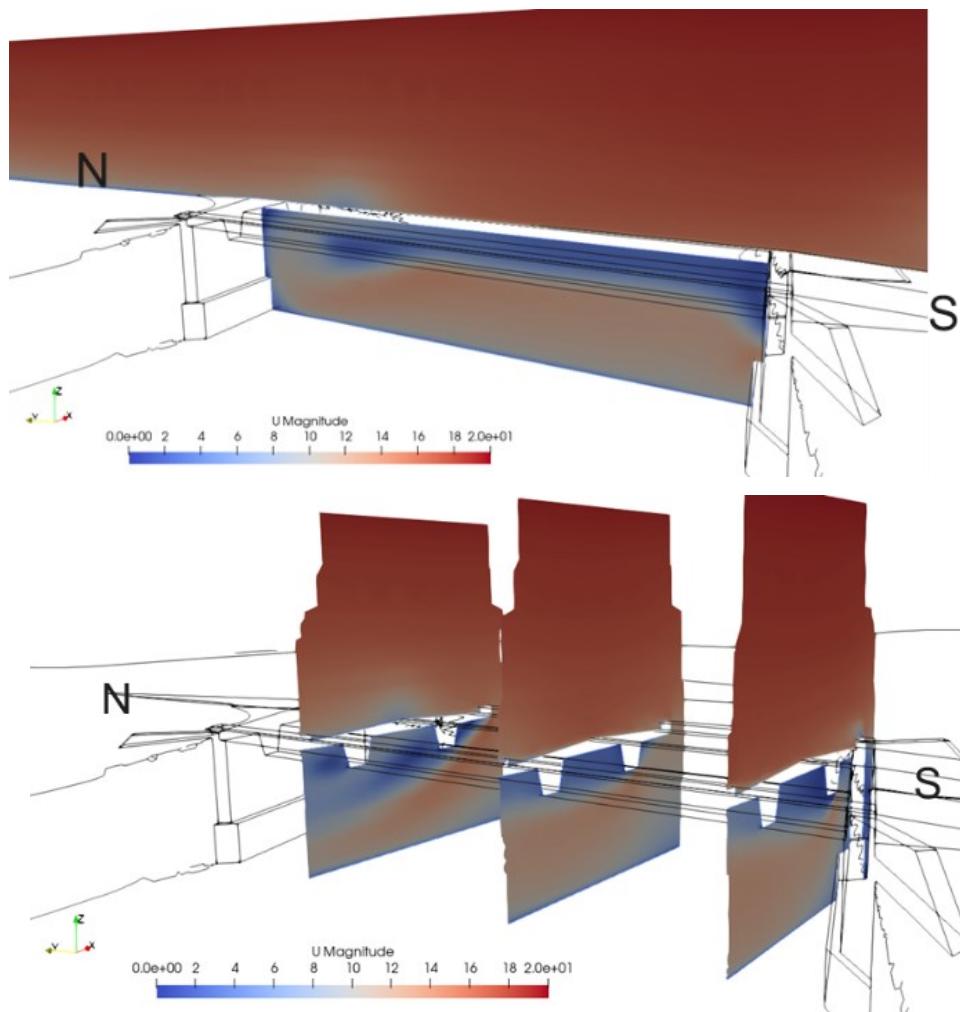
3.2. Aðstæður við brú

Í norðaustanátt myndar vindurinn skarpt áfallshorn við brúna, eins og sjá má á Mynd 12. Talsverða stefnubreytingu þarf til að vindurinn komist undir brúna, og við slíkar aðstæður myndast hvirflar og skjólsvæði.



Mynd 12: Áfallshorn vinds á brú í norðaustanátt, mismunandi sjónarhorn.

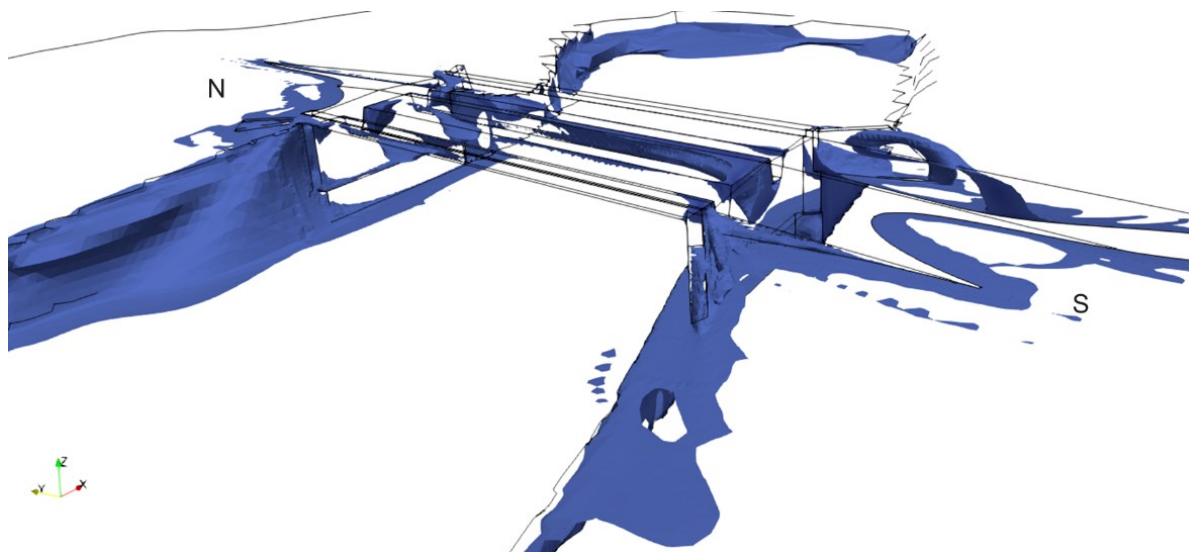
Á Mynd 13 má sjá snið í reiknað straumsvið við brúarstæðið, en þá má sjá skjólsvæði undir brúnni sunnanmegin þar sem helst má ætla að snjósofnun hefjist.



Mynd 13: Snið í reiknað straumsvið við brúarstæði.



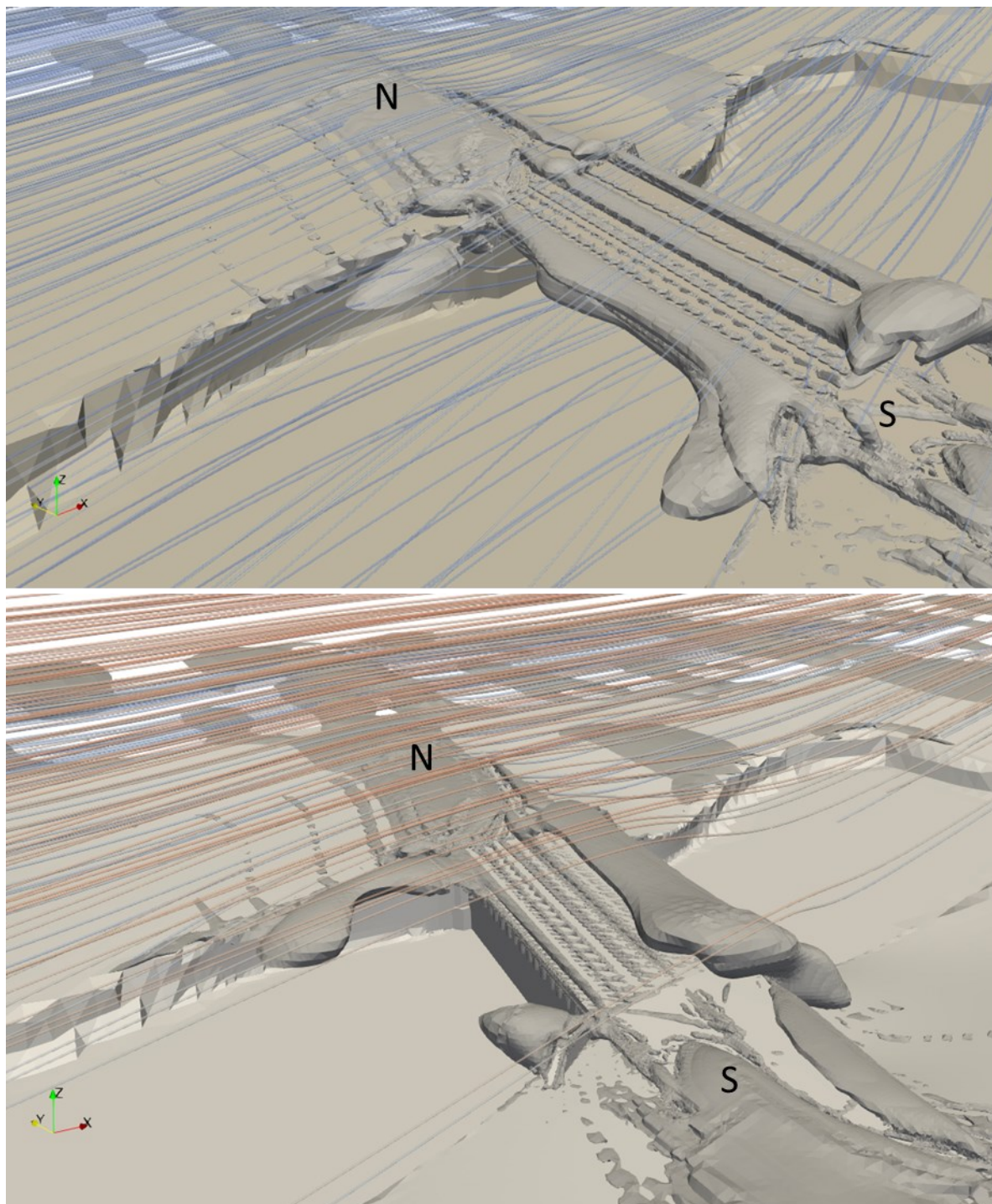
Ef litið er á jafnhraðarúmmál við brúna á Mynd 14 þar sem lofthraði minni en 2 m/s er litaður má einnig sjá möguleg snjósöfnunarsvæði.



Mynd 14: Jafnhraðarúmmál, $u < 2 \text{ m/s}$.

Það er því ljóst að við norðaustanátt eru aðstæður slíkar við brúna að snjósöfnun í brúaropinun er líkleg.

Ef afleiðingar snjósöfnunar eru skoðaðar með því að loka undir brúna í austanátt, má sjá á Mynd 15 að sterkur hvirfill myndast austanmegin á brúnni þar sem vindurinn sem leggst í árfarveginn reynir að beygja upp og yfir brúna. Þessi hvirfill er óstöðugur og leiðir til óstöðugs hliðarálags á bifreið sem á leið yfir brúna.



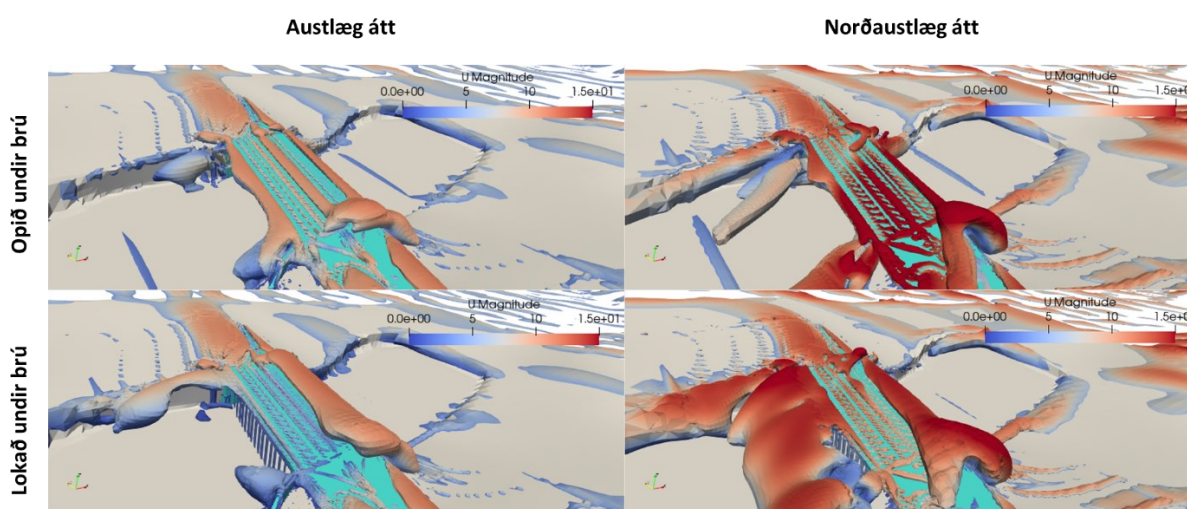
Mynd 15: Hvirflamyndun í austanátt við brú án lokunar brúarops (ofan) og með lokun (neðan).

Það má því segja að vandamálið við brúna yfir Norðurá sé tvíþætt. Annars vegar þá á sér stað snjósöfnun við brúna í norðaustanátt vegna áfallshorns vindsins við brúna, sem er ríkjandi átt á veturna. Hins vegar skapast þær aðstæður í austanátt að mikið skjól myndast í dalnum sunnan við brúna, og skilin eiga sér stað rétt áður en komið er að brúnni úr suðri.

Ökumaður sem kemur að sunnan keyrir því úr miklu logni í skyndilegt rok við syðri enda brúarinnar, sem einnig getur endað í óstöðugu hliðarálagi þegar komið er upp á brúna, sérstaklega ef snjór hefur lokað brúarmynninu.

Þess má geta að hvirflamyndun á sér stað á brúnni í báðum vindáttum, og óháð því hvort snjósöfnun sé til staðar undir brúnni, eins og sjá má á Mynd 16, en nokkuð meiri vindhraða má gæta á brúnni í norðaustanátt. Hvirflamyndun eykst við lokun undir brú, en þó má sjá nokkuð sterkan hvirfil við brúarenda í öllum tilfellum, og sérstaklega varhugaverður hvirfill virðist myndast í norðaustanátt þegar opið er undir brú, en sá hvirfill nær yfir allan veginn.

Þetta getur verið sérlega varhugavert bifreið sem stefnir inn á brú að sunnan, því þetta er trúlega mjög óstöðugt fyrirbæri.



Mynd 16: Samanburður á hvirflamyndun fyrir öll hermd tilfelli.

Trúlega er helsta orsök þessarar hvirflamyndunar sú að vindurinn skellur á brúarundirstöðum og beygir skarpt upp. Ef brúarundirstöðurnar og landslag upp að þeim er meira aflíðandi þá gætu áhrifin mildast.

Í ljósi mikilla áhrifa vindáttar og skafrennings á vindafar við brúna má að lokum velta fyrir sér hvort millibilsástand geti myndast sem eykur á hættuna, t.d. ef skefur að sunnan eða norðan og lokar hálfu brúaropi frá öðrum hvorum enda. Slíkt hefur ekki verið hermt í þessu verkefni, en gæti þó verið fróðlegt að skoða.

4. Umræður

Út frá veðurgögnum hefur tekist að nýta líkanið til að greina og skilja mögulegar hættuáðstæður sem myndast við brúna. Þegar þessi skilningur er til staðar þá vakna frekari spurningar um hvaða aðgerðum sé hægt að beita til að minnka hættuna.

Hægt er að bæta inn hvers konar skjólveggjum og vegriðum í líkanið og væri því mögulegt að bera saman mögulegar mótvægisáðgerðir á tiltölulega einfaldan hátt. Hér væri svo dæmi sé nefnt hægt



að skoða mismunandi vegrið á brú, lengd vegriða út frá brú, lengingu brúarstólpa út til hliða, og staðsetningu, hönnun og fjölda skjólveggja til snjóútfellingar.

Í þessu verkefni gafst ekki færi á að skoða allar mögulegar vindáttir, en suðvestanátt er einnig algeng á vetrarmánuðum, og hefði verið fróðlegt að sjá áhrif hennar. Mögulega skilar hún einnig mikilli snjósöfnun við brúna, rétt eins og norðaustanátt. Vel liggur við að herma fleiri vindáttir þegar uppsetning á líkani er lokið, og færi því vel á að gera slíkt í framhaldi verkefnisins.

Auk fleiri vindátta þá mætti einnig skoða fleiri geometrísk tilfelli, svo sem hálfu lokun undir brú frá hvorum enda, og ná þannig utan um heildaráhrif snjósöfnunar á vindafar við brúna.

Einnig er ljóst að þeim verkfærum sem hefur verið beitt í greiningunni væri hægt að koma fyrir á fyrri hönnunarstigum svo ekki þurfi að grípa til mótvægisáðgerða seinna meir. Með tiltölulega einföldum forsendum, svo sem helstu vindáttum á svæði, má greina vindafar á stóru svæði og sjá hvernig landslag hefur áhrif á það. Slíkt vindakort má nota til að aðstoða við staðsetningu á vegi og brú, og þar með komast hjá því að staðsetja slík mannvirki á erfiðum staðbundnum veðursvæðum.

Ef lítið er til um vindafarsgögn í námunda við áhugasvæði, þá má einfaldlega herma stærra svæði, nýta sér grófar nálganir um almennt vindafar á jaðrinum og leyfa landslaginu að stýra framþróun vindasviðsins inn á áhugasvæði.

Forsendur fyrir slíkum greiningum geta því verið einfaldar eða flóknar, eftir því hvaða gögn liggja að baki og hvaða nákvæmni er vænst í niðurstöðum. Forvalsgreiningar á staðsetningu má gera með tiltölulega einföldum hætti, en einnig mætti hugsa sér að framkvæma greiningu með einföldum jaðarskilyrðum til þess að styðja við val á mælipunktum fyrir færanlegan veðurrita, hvers mælingar mætti svo nota til að byggja nákvæmara líkan.

5. Niðurlag

Í umfjölluninni að framan hafa verið tekin skref í þá átt að meta nýtingarmöguleika vindafars-hermana til bætingar hönnunarviðmiða vegna brúargerðar á þjóðvegum landsins í gegnum raunverulegt sýnidæmi. Greint var frá hermun vindafars við og í nágrenni brúar yfir Norðurá við Fornahvamm, þar sem fjölmörg alvarleg slys hafa orðið á undanförunum árum.

Greint var frá forsendum líkangerðarinnar, framgangi hennar og hermunartilfellum. Meginniðurstöður hermananna draga fram aðstæður við brúna sem geta verið óheppilegar og jafnvel hættulegar öikumönnum sem leiðina fara. Sérstaklega var vikið að slíkum aðstæðum í norðaustlægum og austlægum vindáttum, en einnig fjallað um mögulegan þátt annarra vindátta, sér í lagi suðvestlægar áttir, við að skapa slæmar aðstæður á staðnum.

Niðurstöðurnar eru mjög í takti við reynslu Vegagerðarinnar af þeim aðstæðum sem skapast við brúna sem styður enn frekar við nýtingarmöguleika niðurstaðanna og aðferðarfræðarinnar almennt séð. Ályktanir voru því dregnar fram um hugsanlegar mótvægisáðgerðir sem vert væri að skoða í framhaldi auk nýtingarmöguleika hermananna við undirbúning, viðhald og rekstur brúarmannvirkja á þjóðvegum landsins.

Aðferðarfræðin sem hér hefur verið beitt við hermanir á vindafari geta eftl hönnunarviðmið Vega-gerðarinnar almennt, en sér í lagi á viðkvæmum svæðum líkt og við brúarstæði.