

Útgáfufélagið Slemba
ISBN 978-9979-9709-4-1

Rit Reiknistofu í veðurfræði
Hálfván Ágústsson
Haraldur Ólafsson

Staðbundin óveður við
Kvísker í Öræfum

REYKJAVÍK
2008

EFNISYFIRLIT

Útdráttur	3
1 Inngangur	4
2 Aðferðafræðin	5
2.1 Greining lofthjúpsins	5
2.2 Mælingar á veðri	5
2.3 Lofthjúpslíkanið	6
3 Veðurfar í óveðrum við Kvísker	7
4 Lofthjúpsreikningar fyrir valin óveður	12
4.1 Vestanáveðrið við Kvísker 25. janúar 2007	12
4.2 Norðanáveðrið við Kvísker 18. október 2004	16
5 Óveður og fágað landslag	20
6 Áhrif Vatnajökuls á óveður við Kvísker	23
7 Umræða um niðurstöðurnar	25
8 Samantekt	29
9 Heimildir	30
A Viðauki – Veðurfar í óveðrum við Kvísker	33
B Viðauki – Vestanáveðrið 25. janúar 2007	35
C Viðauki – Norðanáveðrið 18. október 2004	37
D Viðauki – Óveður og fágað landslag	38
E Viðauki – Áhrif Vatnajökuls á veður við Kvísker	40

MYNDALISTI

1	Malbiksskemmdir á hringveginum við Kvísker.	4
2	Kvísker og reiknisvæði lofthjúpsreikninganna.	6
3	Vindar í 500 og 850 hPa.	8
4	Vindrósir fyrir Kvísker	9
5	Þyngdarmætti og yfirborðsprýstingur í vestlægum óveðrum við Kvísker.	10
6	Þyngdarmætti og yfirborðsprýstingur í norðlægum óveðrum við Kvísker.	11
7	Mældur vindur við Kvísker 25. jan. 2007	12
8	Reiknaður vindur kl. 06:00 25. jan. 2007.	13
9	Reiknaður og mældur vindstyrkur við Kvísker 25. jan. 2007	14
10	Snið A yfir Örafajökul og Kvísker.	15
11	Mældur vindur við Kvísker 18. okt. 2004.	16
12	Reiknaður vindur kl. 21:00 18. okt. 2004.	17
13	Reiknaður og mældur vindur við Kvísker	18
14	Snið A yfir Örafajökul og Kvísker.	19
15	Reiknaður vindur í fágúðu landslagi.	21
16	Útbreiðsla óveðurs hlémegin fjalls.	22
17	Áhrif jökla á reiknaðan vind kl. 06:00 18. okt. 2004.	24
18	Tunglmyndir af Íslandi	26
19	Uppruni loftmassanna í óveðrunum við Kvísker.	27
20	Þyngdarmætti og yfirborðsprýstingur í verstu vestlægu óveðrum við Kvísker.	33
21	Hiti í 850 hPa í óveðrum við Kvísker.	34
22	Reiknaður og mældur vindstyrkur við Kvísker 25. jan. 2007.	35
23	Reiknaður hviðustyrkur 06:00 25. jan. 2007.	36
24	Mælingar á vindi og hita kl. 06:00 25. jan. 2007.	36
25	Reiknaður vindstyrkur í 9 og 1 km neti.	37
26	Mældur vindur og hiti kl. 21:00 18. okt. 2004.	38
27	Upphafsskilyrði fyrir lofthjúpsreikninga með fágúðu landslagi.	38
28	Útbreiðsla óveðurs hlémegin fjalls.	39
29	Mættishiti í 1,5 km hæð.	39
30	Reiknaður vindur kl. 06:00 18. nóv. 2007.	40
31	Mældur vindur kl. 05:41 18. nóv. 2007 skv. QScat.	40

ÚTDRÁTTUR

Staðbundin óveður við Kvísker í Öræfum eru rannsökuð með athugun á mælingum, greiningu á lofthjúpnunum og hermun á völdum óveðrum. Í ljós kemur að óveðrin, þ.e. þegar vindur í hviðum fer yfir 35 m/s á veðurstöðinni við Kvísker, eru tvennskona. Í fyrsta lagi í vestanátt þegar hvasst er í öllu veðrahvolfinu en þau óveður er algengari en hin tegund óveðrana þar sem hvöss norðanátt er í neðri hluta veðrahvolfsins en hægari vindur ofar. Hermun á versta óveðrinu af fyrri tegundinni bendir til að þyngdarbylgjur myndist í straumnum ofan við Öræfajökul, og valdi mjög staðbundnu ofsaveðri austanmegin Öræfajökuls. Lofthjúpsreikningar og tunglmyndir benda jafnframt til að bylgjurnar nái nokkuð langt út á hafið til austurs frá Öræfajökli þó óveðrið við rætur jökulsins geri það ekki. Þá er veðurstöðin við Kvísker mjög nærri því að vera undir niðurstreyminu í fyrstu bylgjunni en þar verður einmitt hvasst og hviðurnar öflugastar. Hermun á óveðri af seinni tegundinni gefur til kynna að við samspil loftstraumsins og Vatnajökuls myndist straumstökk, eða þyngdarbylgja sem ofrís og brotnar, hlémegin jökulsins. Við þær aðstæður getur einmitt orðið mjög hvasst og snarpar hviður undir straumstökkinu. Þá er hvasst víðar um Suðausturlandið heldur en einvörðungu við Kvísker og óveðrið nær langt til suðurs frá hlíðum fjallanna. Meginmunur á þessum tveimur tegundum óveðra virðist því felast í þeirri vegalengd sem mesta óveðrið nær frá fjallatoppum og niður fjallshlíðarnar hlémegin. Í rannsókninni er gerð tilraun til að tengja þá vegalengd við uppruna loftsins, stöðugleika og þykkt jaðarlagsins ásamt því að gerðar eru tilraunir með lofthjúpsreikninga í fágudu landslagi. Í ljósi þess að Vatnajökull hefur mikil áhrif á veðurfar í Skaftafellssýslum þá er hér gerð frumtilraun til að meta mögulegar breytingar á styrk norðanóveðrana við minnkandi umfangi jökulsins líkt og ætla má að verði með hlýnandi veðurfari. Svo virðist sem styrkur óveðrana við Kvísker minnki lítillega en að afar miklar breytingar verði á mynstri loftstraumsins sunnan jökulsins.

1 INNGANGUR

Veður og veðurfar eru ráðandi þættir í mannlífi á Íslandi og skipta miklu máli fyrir samfélagið, samgöngur, atvinnuvegi og búsetu svo fátt eitt sé nefnt. Óvíða annars staðar eru óveður eins algeng og á Íslandi þar sem óveður valda oft tjóni og/eða öðrum vandamálum. Óveðrin eru algengust haust og vetur þegar lægðabrautin í Norður-Atlantshafi liggur mjög nærri eða yfir Íslandi og það er vinda- og úrkomusamast á landinu. Verstu veðrin verða þegar djúpar lægðir eru nærri landinu og samspil loftstraumsins og fjalla veldur staðbundinni mögnun á óveðrunum, t.d. hvassviðrum nærri fjöllum og staðbundinni mögnun á úrkomu-magni með viðeigandi vatnsflóðum sem gætir á stóru svæði. Þar sem fjallendið magnar upp vindinn geta vindhviður hæglega orðið 2–3 sterkari en meðalvindurinn (Ágústsson og Ólafsson 2004b) en það eru einmitt þessar sterku hviður sem valda mestu tjóni í óveðrunum. Fréttir af slíkum athurðum eru algengar í fjölmiðlum landsins (sjá t.d. Mbl 2003a,b) og flestir landshlutar eiga sína alræmdu staði þar sem mikill vindstyrkur veldur oft hættu, s.s. undir Hafnarfjalli og á Kjalarnesi, beggja megin Snæfellsness, í Vatnsskarði eystra, undir Lómagnúpi og síðast en ekki síst í Örafum eins og 1. mynd ber vitni um en hún sýnir hvernig veðurofsinn hefur beinlínis flett malbikinu af hringveginum nærri Kvískerjum.



1. mynd: *Hringvegurinn við Kvísker hefur ítrekað skemmt í ofsaveðrum þegar hluti slitlagsins flettist af veginum. Hér er horft til norðurs í átt að Fjalls- og Breiðamerkurjökli. Ljósmynd: Sigurður Gunnarsson, Hnappavöllum.*

Undanfarin ár hefur verið töluverð aukning á rannsóknum á staðbundnum óveðrum á Íslandi. Meðal þeirra fyrstu voru athuganir á óveðrum á norðan- og sunnanverðu Snæfellsnesi, (t.d. Ólafsson et al. 2002a,b) sem tengjast SNEX-verkefninu. Eins hafa óveður á Vest- og Austfjörðum verið rannsökuð, en slíkum veðrum er t.d. líst í Ágústsson (2004) og Ágústsson og Ólafsson (2007). Allar eiga þessar rannsóknir það sammerk að þær hafa leitt í ljós að staðbundin óveður hlémegin fjalla tengjast þyngdarbylgjum sem myndast í loftstraumnum ofan fjalla. Vindur verður mestur undir niðurstreyminu í þyngdarbylgjunni og hviðurnar virðast öflugastar þegar bylgjan ofrís og brotnar.

Erlendis hafa samskonar óveður verið mikið rannsökuð. Frægustu og mest rannsökuðu veðrin eru líklega þau sem kennd eru við bæinn Bólder í Kolórado-fylki BNA (t.d. Clark et al.

1994) en í þeim geta hviðurnar hæglega orðið 50 m/s á meðan meðalvindur er nærri 25 m/s (Durran 1990). Eins er óveðrið frá 12. október 1996 í Norður-Noregi vel þekkt en þar brotnuðu 30 m há raflínumöstur í þröngum og stuttum dal þar sem ætla má að hviðurnar hafi farið yfir 50 m/s og verið tvöfalt sterkari en meðalvindurinn (Grønås og Sandvik 1999). Myndun þyngdarbylgna og óveður þeim tengd hafa verið viðfangsefni í mörgum öðrum rannsóknum, jafnt eldri sem yngri, eins og t.d. í Doyle et al. (2005) og Ólafsson og Ágústsson (2006), sem rannsökuðu þyngdarbylgjur yfir Grænlandi. Heildstætt yfirlit yfir slíkar rannsóknir má t.d. finna í Durran (1990) en það er þó nokkuð komið til ára sinna. Í einfölduðum lofthjúpi og -straumi má jafnframt einangra ýmis ferli líkt og var gert í grunnrannsóknum Clark og Farley (1984); Smith (1985) eða í rannsóknum Ólafsson and Bougeault (1996, 1997) sem skoðuðu flóknari lofthjúp. Slíkar rannsóknir hafa skilað miklu til aukins skilnings á þeim einstöku ferlum og aðstæðum sem kunna að vera mikilvæg fyrir myndun þessarra staðbundnu óveðra. Í almennri umfjöllun Smith (2004) um áhrif fjalla á veður er að hluta til að finna yfirlit yfir slíkar rannsóknir.

Í þessari ritgerð eru skoðuð staðbundin óveður við Kvísker í Öræfum en rannsókn fyrir sambærileg ofsaveður við Freysnes vestan við Öræfajökul er líst í grein Ólafsson og Ágústsson (2007) og að hluta til einnig í Rögnvaldsson et al. (2007a). Í öðrum kafla er lýst lofthjúpsgögnunum og líkaninu sem er notað, auk mælinga sem notuð eru til samanburðar. Í 3. kafla er athugun á veðurfari í óveðrum við Kvísker en næsti kafli sýnir niðurstöður á lofthjúpsreikningum fyrir valin óveður. Kafli 5 lýsir stuttlega tilraunum með fagað landslag og áhrif dýptar jaðarlagsins á óveðrin í hléhlíðum fjallanna. Í 6. kafla eru athuguð möguleg áhrif þess að Vatnajökull minnkar, t.d. vegna hlýnandi veðurfars, á styrk óveðrana. Umræða um mikilvægustu niðurstöðurnar eru í 7. kafla en samantekt er í síðasta kafla skýrslunnar.

2 AÐFERÐAFRÆÐIN

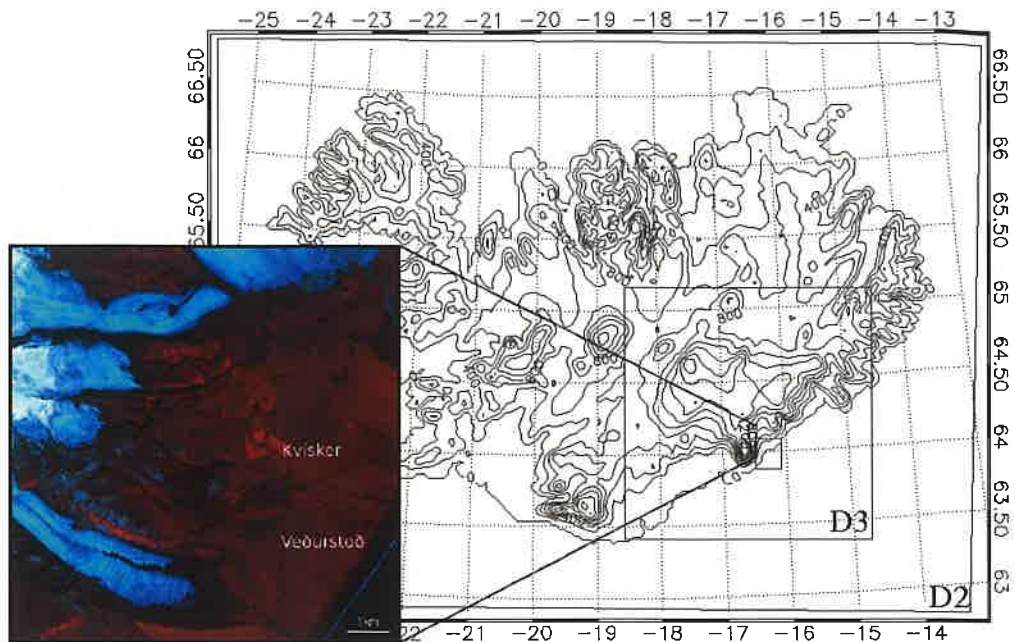
2.1 Greining lofthjúpsins

Við kerfisbundna athugun á veðurfari og ríkjandi aðstæðum í lofthjúpnunum þegar óveður verða við Kvísker er notast við gögn frá Evrópsku Veðurstofunni (ECMWF) og bandarísku haf- og lofthjúpsfræðastofnuninni (NOAA).

Fyrir árin 1967–1999 fæst greining á ástandi lofthjúpsins úr ERA-40 gagnasafninu en úr rauntímagreiningu frá ECMWF fyrir árin 2000–2007. Gögnin eru brúuð í punktinn 63°N 15°V suðaustur af landinu og rýnt er í NS og AS vindþættina á 850 og 500 hPa þrýstiflötunum. Þessi gögn eru skoðuð fyrir allt fyrrnefnt tímabil, þ.e. 1967–2007 en jafnframt eru athuguð sérstaklega þau tilfelli sem passa við óveðrin í Kvískerjum, þ.e. þegar mældur vindur í hviðum fór yfir 35 m/s. Gögn frá NOAA eru notuð til að teikna upp meðalástand lofthjúpsins yfir Norður-Atlantshafi í völdum óveðrum m.v. mælingar frá Kvískerjum.

2.2 Mælingar á veðri

Hér er einkum notast við vindmælingar frá veðurstöð Vegagerðarinnar við Kvísker (nr. 35315) í Öræfum (sjá 2. mynd) en sú stöð hefur verið rekin síðan 2002. Stöðinni var valinn staður nærri því þar sem veðrin verða verst við Kvísker en í sjónlínu við fjarskiptamastur ofan Hnappavalla. Staðkunnugir menn (sbr. samtal við Sigurð Gunnarsson á Hnappavöllum) telja þó að veðrin séu jafnvel verri nær Kvískerjum en þar var þó ekki símasamband á þeim tíma er stöðin var sett upp.



2. mynd: Staðsetning Kvískerja og reiknisvæði með 3 og 1 km lárétta möskvastærð, ásamt 200 m hæðarlínum í 3 km reiknineti. Innfella tunglmyndin sýnir næsta nágrenni Kvískerja.

Mælingarnar er til jafns notaðar til rannsóknar á veðurfari (tíðni og gerð óveðra) við Kvísker en einnig til að sannreyna vindareikninga með lofthjúpslíkani. Hér eru tímabil með styrk vindhviðu yfir 35 m/s flokkuð sem óveður, óháð styrk meðalvindsins. Mælingar frá fjölmörgum öðrum sjálfvirkum veðurstöðvum eru jafnframt notaðar til að sannreyna líkanreikningana. Flestar þær stöðvar eru í eigu Veðurstofu Íslands.

Mælingarnar eru vistaðar sérhverja klukkustund, þ.m.t. 10-mínútna meðalvindstyrkur og -átt ásamt styrk mestu 3-sekúndna vindhviðu. Vindurinn er almennt mældur í 10 m hæð yfir jörð nema á flestum stöðvum Vegagerðarinnar, þ.m.t. við Kvísker, þar sem vindur er mældur í u.þ.b. 7 m hæð yfir næsta nágrenni stöðvarinnar. Ekki er ástæða til þess að þessi munur í hæð hafi mikil áhrif á mældan styrk vindhviða þar sem þær tengjast loftþökkum sem berast úr efri loftlögum og viðnám við yfirborð jarðar hefur ekki haft mikil áhrif á þá. Munurinn hefur þó allnokkur áhrif á styrk meðalvindsins sem hafa ber í huga við notkun á mælingum á honum. Öll gögn eru geymd hjá Veðurstofu Íslands þar sem þau hafa einnig verið yfirfarin m.t.t. mögulegra villna í þeim.

2.3 Lofthjúpslíkanið

Lofthjúpslíkanið MM5 (Grell et al. 1995) er notað til að herma ástand lofthjúpsins fyrir valin veður. Líkanið er þvingað með lofthjúpsgreiningu frá ECMWF.

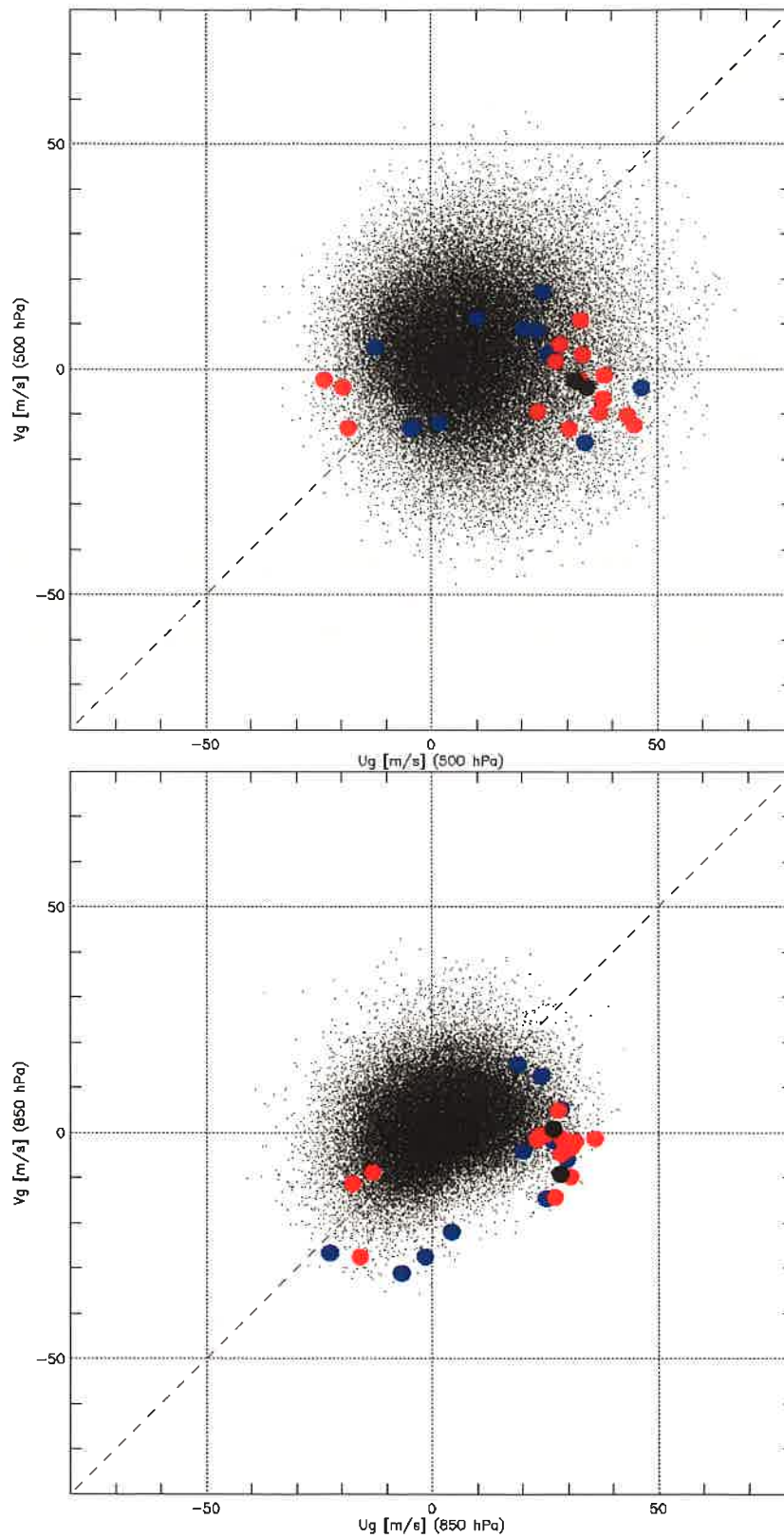
Lárétt möskvastærð í líkaninu er 9, 3 og 1 km. Reiknisvæðin eru með 90x95, 148x196 og 169x190 netpunkta (2. mynd). 40 reiknifletir (σ -fletir) eru notaðir en þeir eru láréttir í 50 hPa við topp líkansins en fylgja landslaginu í neðri hluta líkansins. Hin háa upplausn er nauðsynleg til að taka nægjanlega mikið tillit til áhrifa landslags á loftstrauminn. Þó má ætla að betri niðurstöður gætu jafnvel fengist með að nota jafnvel enn hærri upplausn þar sem fjöll í Örafum og Suðursveit eru víða mjög há og brött (sbr. Ólafsson og Ágústsson 2007). Það togast þó m.a. á við tiltækt reikniafl fyrir líkanreikningana og getu lofthjúpslíkansins.

Í rannsókninni er aðferð Reisner et al. (1998) notuð til að herma þróun loftraka og úrkomu (e. moisture physics). Svokölluð ETA-aðferð (Janjić 1990, 1994) er notuð til að herma ferli í jaðarlaginu (e. boundary-layer parameterization) s.s. áhrif viðnáms við jörðu á loftstrauminn. Fullt tillit er tekið tillit áhrifa geislunar þó ekki sé hægt að ætla að þau áhrif séu mikilvæg í styttri líkankeyrslum.

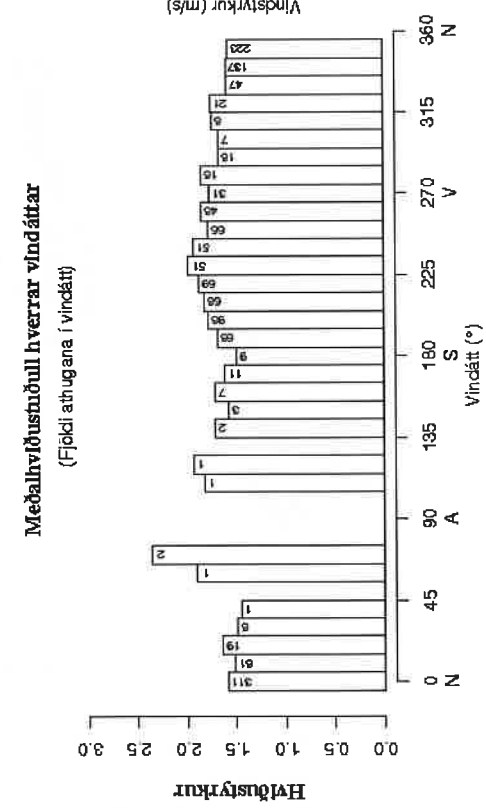
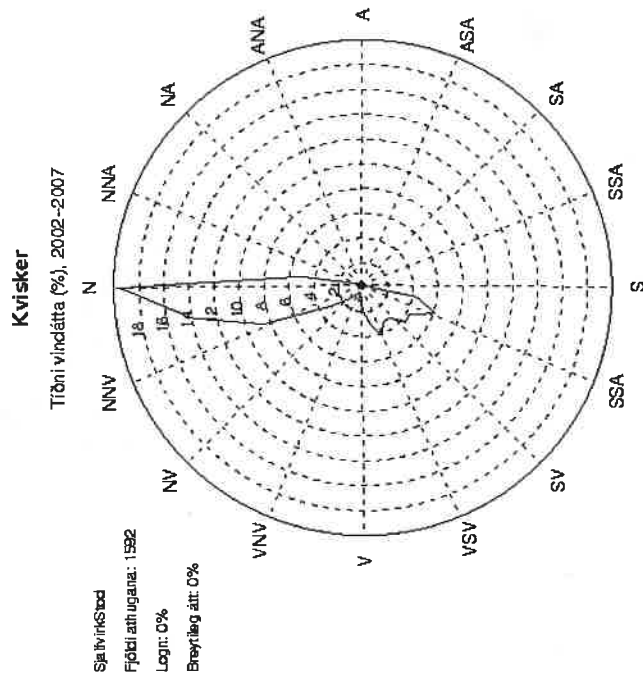
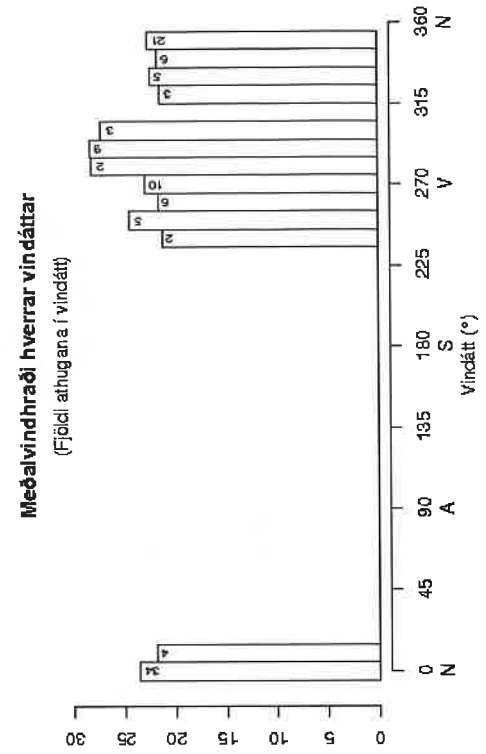
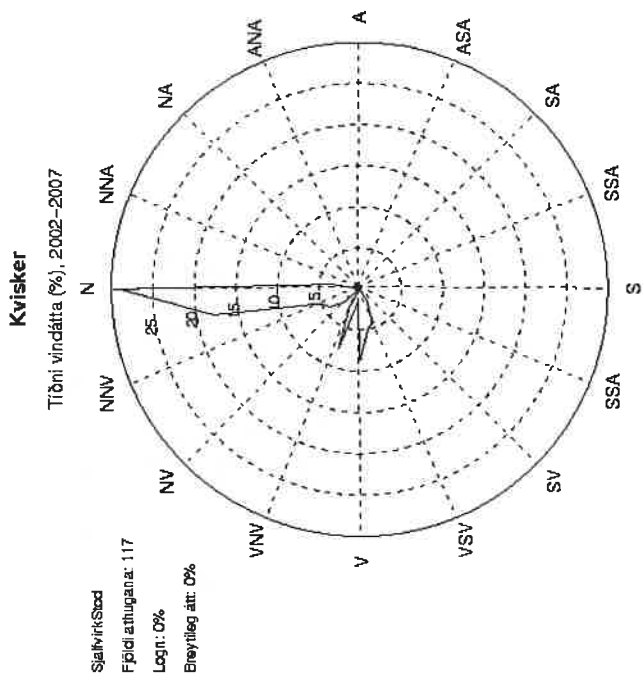
Uppsetningin er mjög nærri því að vera sú sama og í HRAS-kerfi Reiknistofu í veðurfræði (Ólafsson et al. 2006) en nákvæmari lýsingar á uppsetningu og gerð líkansins má t.d. finna í Ágústsson og Ólafsson (2004a).

3 VEÐURFAR Í ÓVEÐRUM VIÐ KVÍSKER

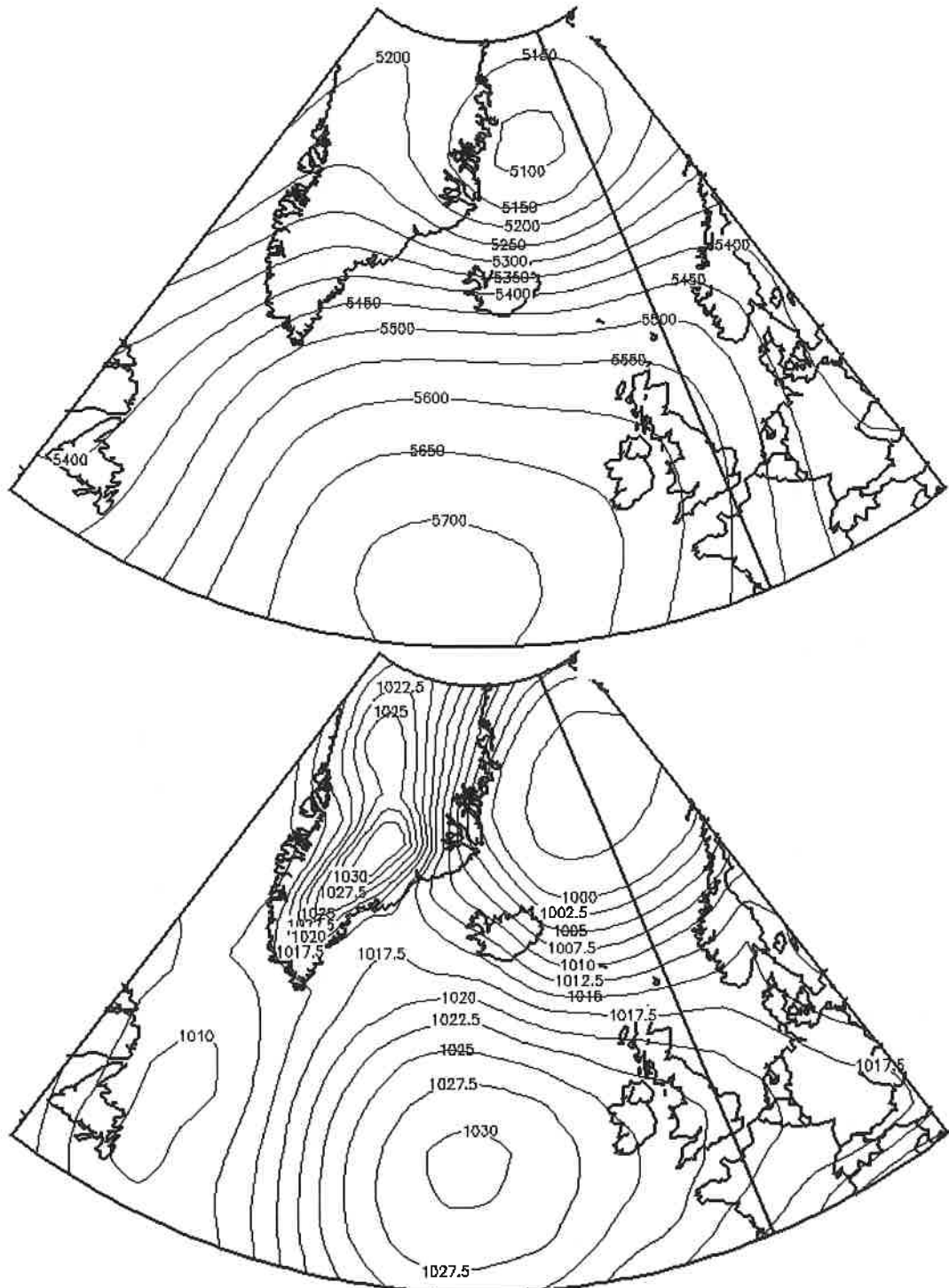
Óveðrin í Kvískerjum eru af tveimur megingerðum eins og 3. mynd sýnir (meginvindstefnan í óveðrunum er sú sama í 850 og 500 hPa). Í því sem við munum kalla gerð 1 er hvöss vestanátt í nær öllu veðrahvolfinu. Verstu ofsaveðrin eru einmitt af þessari gerð, þ.e. svörtu punktarnir í 3. mynd þegar mældur vindur við Kvísker fer í a.m.k. 50 m/s í hviðum. Gerð 2 er óalgengari og í þeim er norð- eða norðaustlæg vindátt í neðri loftlögum en töluvert hægari og austlægari vindur ofar í veðrahvolfinu. Þó oftast virðist hvasst í þeim vindáttum (4. mynd) þá verða óveðrin ekki eins slæm og mældar vindhviður eru að jafnaði veikari en í vestanóveðrunum.



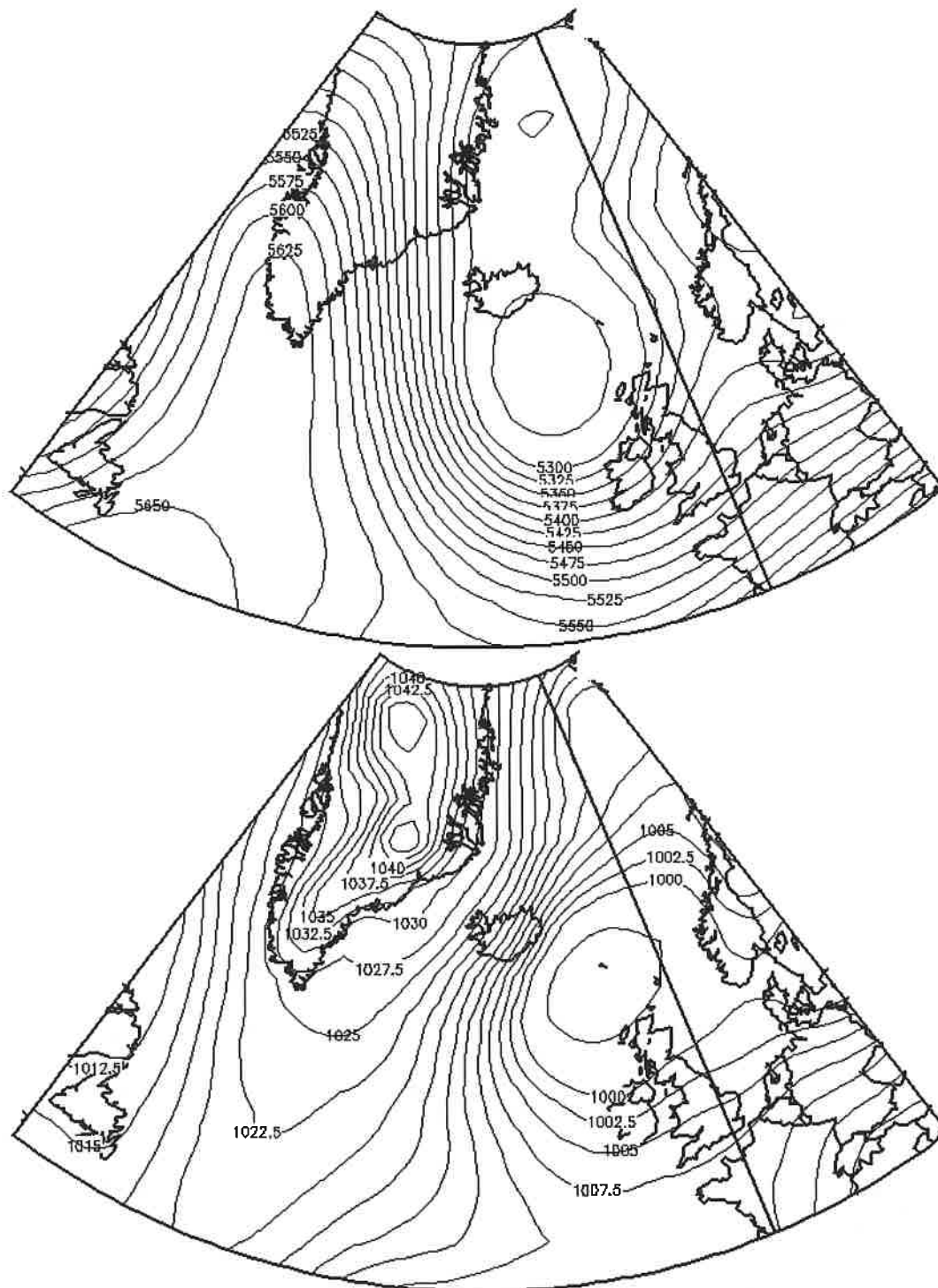
3. mynd: Breiddar- og lengdarbundnir (e. meridional og zonal) þættir vindis, V_g (suður-norður) og U_g (vestur-austur) í 500 hPa og 850 hPa í $N63^\circ V15^\circ$ skv. greiningu ECMWF. Bláir, rauðir og svartir punktar sýna tilfelli þegar mældur vindur við Kvísker fór yfir 35, 40 og 50 m/s í hviðum.



4. mynd: Vindrósir fyrir Kvísker (2002-2007) sem gilda annars vegar fyrir vindhraða, f , yfir 20 m/s og hins vegar fyrir hviðustuðul, $G = f_g/f$ þegar vindhraði, f , er hærri en 10 m/s og hviður, f_g hærri en 20 m/s.



5. mynd: Meðalþyngdarmætti [m] í 500 hPa og meðaltal þrýstings [hPa] við sjávarmál þegar vindur við Kvísker fer yfir 40 m/s í vestlægum óveðrum (gerð 1). Gögnin koma frá NOAA/CDC og eru byggð á greiningu frá NCEP/NCAR.



6. mynd: Meðalþyngdarmætti [m] í 500 hPa og meðaltal þrýstings [hPa] við sjávarmál þegar vindur við Kvísker fer yfir 40 m/s í norðlægum óveðrum (gerð 2). Gögnin koma frá NOAA/CDC og eru byggð á greiningu frá NCEP/NCAR.

Á 5. og 6. mynd sést þrýstisviðið yfir Norður-Atlantshafi í þessum tveimur ólíku gerðum óveðra þegar mældur vindur við Kvísker fer yfir 40 m/s í hviðum. Fleiri sambærilegar myndir eru í viðauka aftan við skýrsluna.

Greinilegt er að í vestanóveðrum er hæðarsvæði sunnan við Ísland og lægð fyrir norðan land en háloftavindröstin liggur yfir landinu. Í norðanóveðrunum er hins vegar lægð suð-

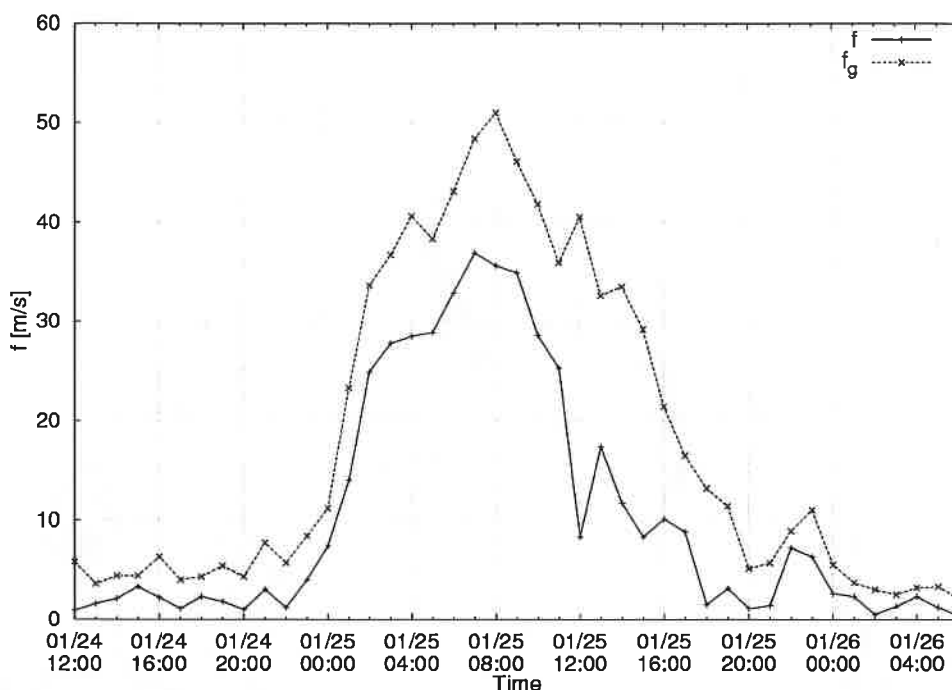
austur af landinu og hæð yfir Grænlandi sem valda vindstrengnum yfir Íslandi. Þá liggur háloftavindröstin vestan og sunnan við landið og það er tiltölulega hægur vindur yfir landinu m.v. í vestanóveðrunum.

4 LOFTHJÚPSREIKNINGAR FYRIR VALIN ÓVEÐUR

Til að varpa frekara ljósi á orsakir óveðrana við Kvísker er lofthjúpslíkanið MM5 notað til að herma verstu veðrin af sitt hvorri gerðinni.

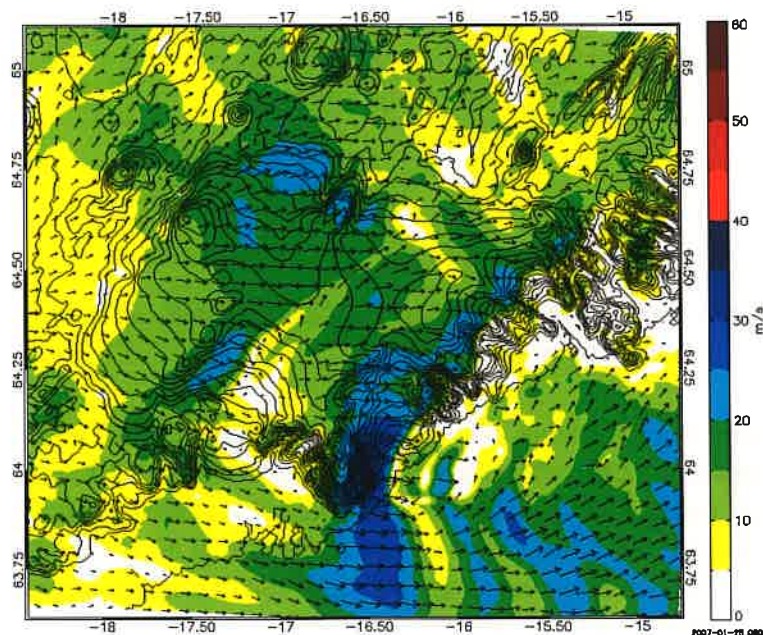
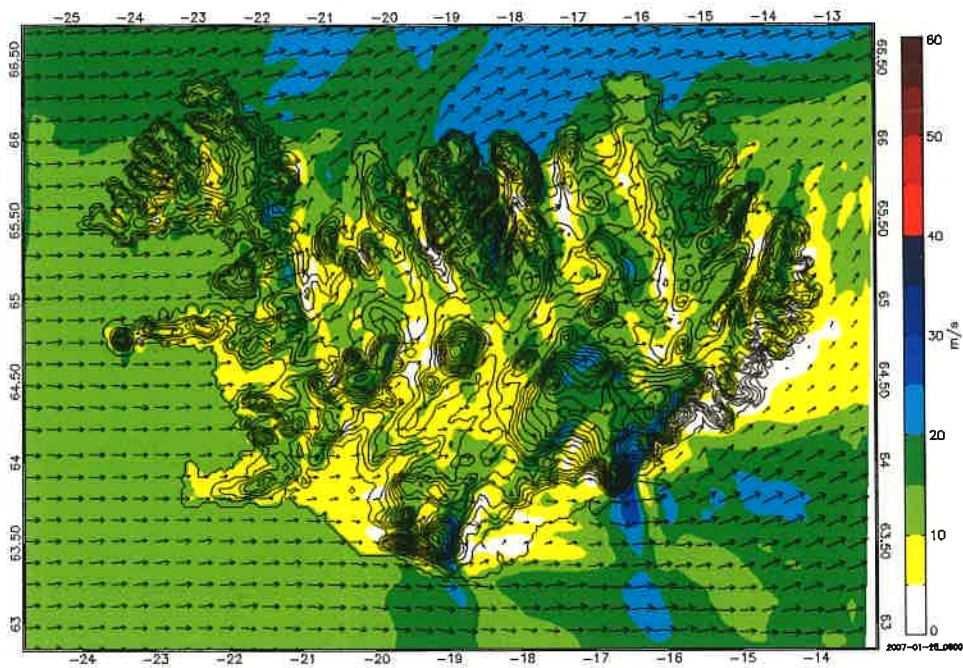
4.1 Vestanóveðrið við Kvísker 25. janúar 2007

Þann 25. jan. 2007 var staðbundið vestanóveður við Kvísker sem stóð í um hálfan sólarhring (7. mynd). Vindstyrkurinn varð mest rúmlega 50 m/s í vindhviðum og var yfir 40 m/s í um 5 klst en óveðrið gekk nokkuð hratt yfir. Meðalvindur fór yfir 35 m/s en var að jafnaði nærri 30 m/s í óveðrinu.



7. mynd: Mældur meðalvindur, f [m/s], og vindhviður, f_g [m/s], við Kvísker í vestanóveðrinu 25. jan. 2007.

Óveðrið náði hámarki milli kl. 06:00 og 09:00 og reikningar á veðri í 3 og 1 km víðum möskvum sýna að óveðrið var afar staðbundið (8. mynd). Hvassast er hlémegin hárra fjalla og einkum austan Mýrdals- og Örfafajökuls þar sem líkanið áætlað að meðalvindurinn hafi farið í allt að 35 m/s.

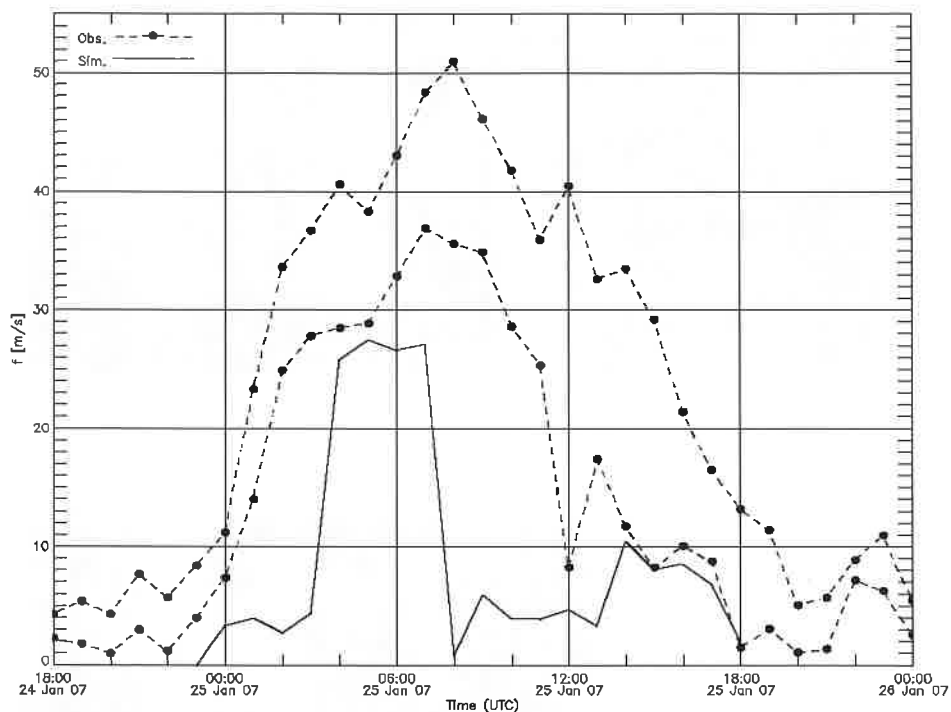


8. mynd: *Reiknaður vindur [m/s] kl. 06:00 25. jan. 2007 við yfirborð jarðar í reiknineti með 3 og 1 km víða möskva.*

Breytileikinn í vindasviðinu eykst mikið við að auka upplausina í 1 km úr 9 og 3 km en þar munar mestu um að áhrif brattrar og hárra fjalla á loftstrauminn koma betur fram í hærri upplausn. Einkum er áberandi hve vel óveðrið við Kvísker og hægviðrið víða í Suðursveit er afmarkað í rúmi. Eins er rétt að benda á breytileikann í vindasviðinu á hafinu úti fyrir

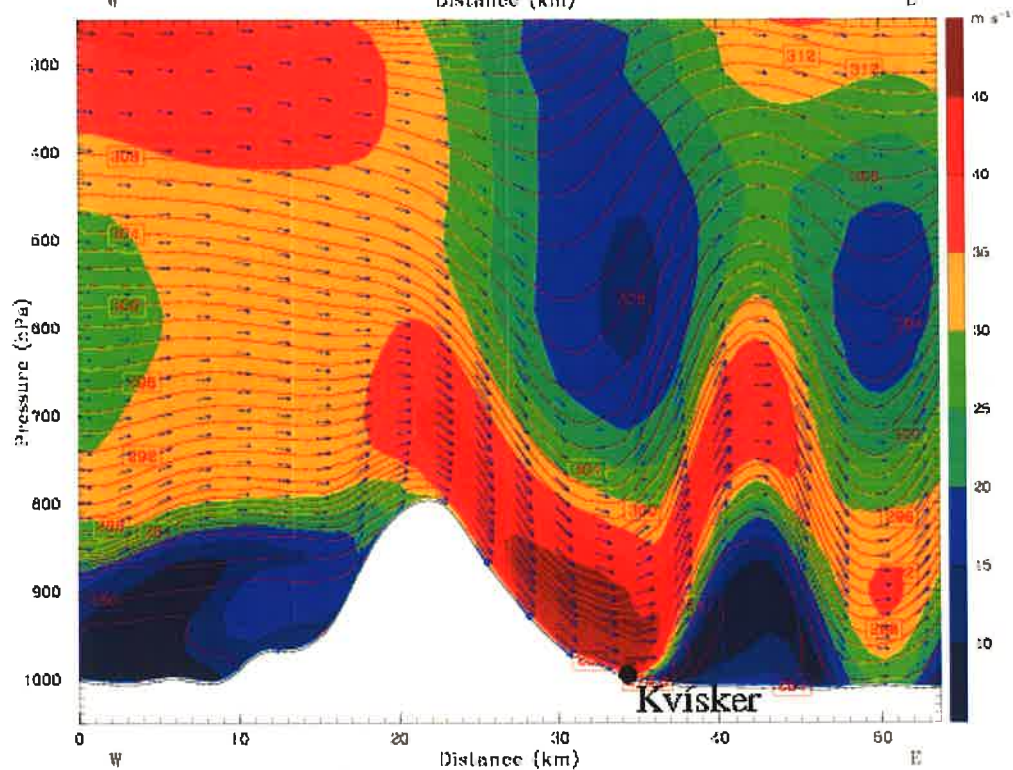
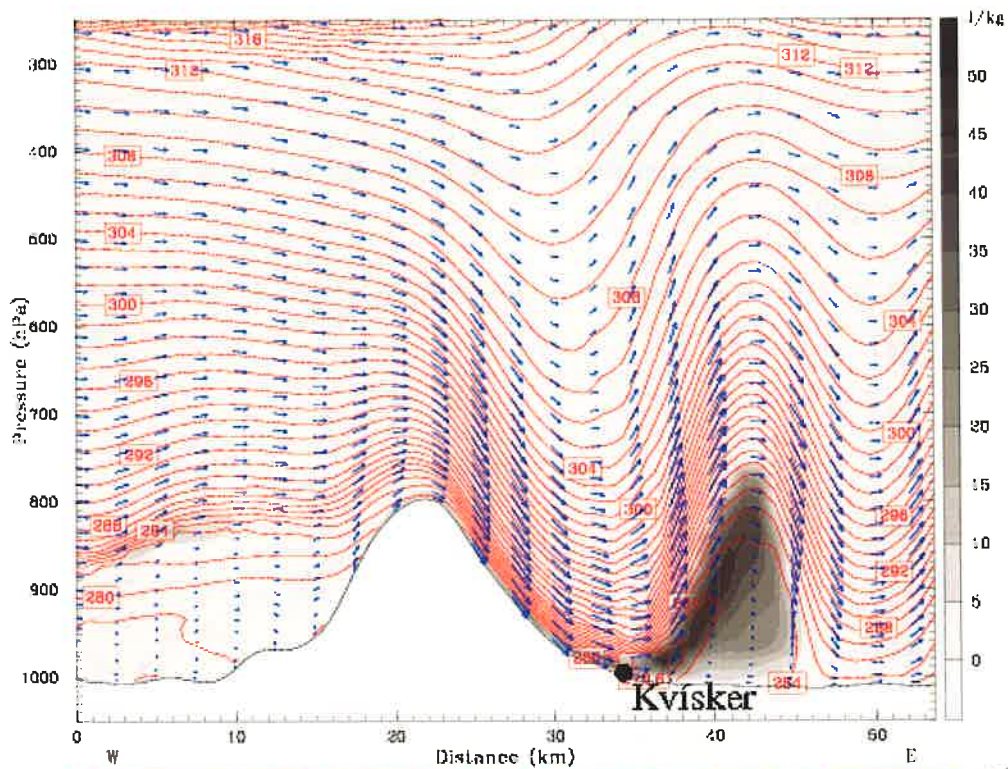
Suðausturlandi þar sem svæði með hægum og hvössum vindi skiptast á.

Lofthjúpslíkanið vanmetur vindstyrkinn um rúma 5 m/s kl. 06:00 við Kvísker en víðast hvar annars staðar er hermt sæmilega vel eftir mældum vindi (sjá viðauka). Óveðrið stendur hins vegar of stutt í líkaninu m.v. mælingarnar og stærsta skekkjan tengist því. Töluverður munur eru á reiknuðum vindi eftir mismunandi láréttri upplausn þar sem 3 km víðir möskvar koma verr út en reikningar með 1 km (sjá viðauka). Reikningar með 9 km víðum möskvum virðast hins vegar ætla lengd óveðursins best.



9. mynd: Reiknaður vindstyrkur í 1 km reiknineti, og mældur meðalvindur og vindhviður, við Kvísker 25. jan. 2007.

Snið A í VA-stefnu, líkt og meginvindstefnan, yfir Örafajökul og Kvísker bendir til að Örafajökull trufla loftstrauminn þ.a. í honum myndist krappar þyngdarbylgjur með mikið lóðrétt útslag (10. mynd). Hvassast verður í niðurstreyminu í hverri bylgju, einmitt nærri Kvískerjum, en töluverð kvika (TKE) bendir til að þar verði vindhviður jafnframt nokkuð öflugar. Á sama tíma hægir Örafajökull mikið á loftstraumnum vestan við Örafajökul sem passar vel við mælingar frá t.d. Skaftafelli.

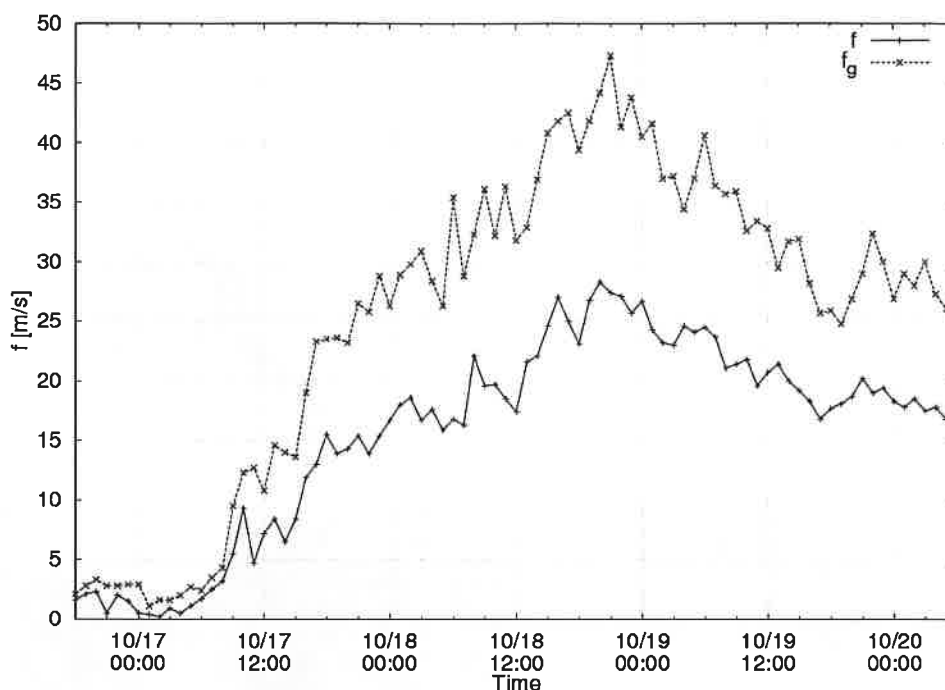


10. mynd: Jafnmættishitalínur [K], kvikuorka [J/kg] (efri mynd), vindstyrkur [m/s] (neðri mynd) og vindörvar kl.06:00 25. jan. 2007 í sniði A yfir Örafajökul og Kvísker í reiknineti með 1 km víða möskva.

Þyngdarbylgjurnar í lofthjúpslíkaninu ná langt út á hafið til austurs frá Örafajökli og mun lengra en sniðin sýna.

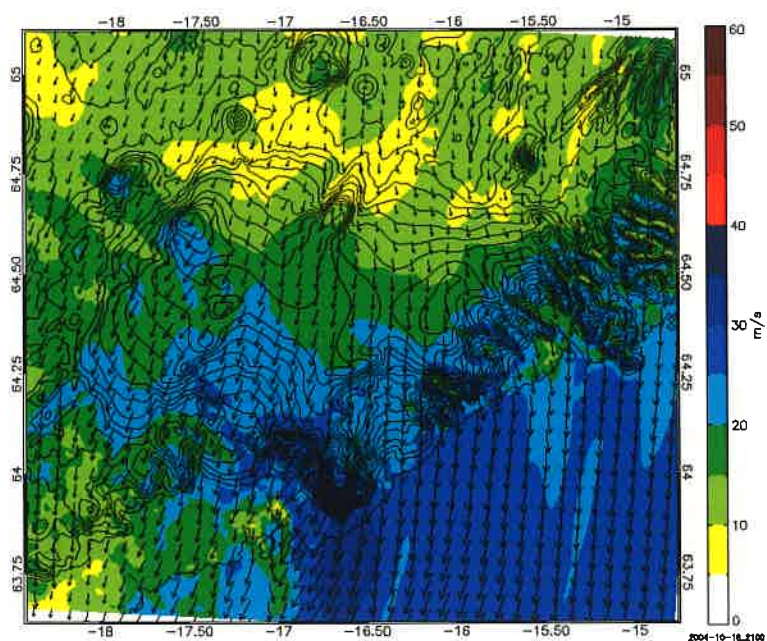
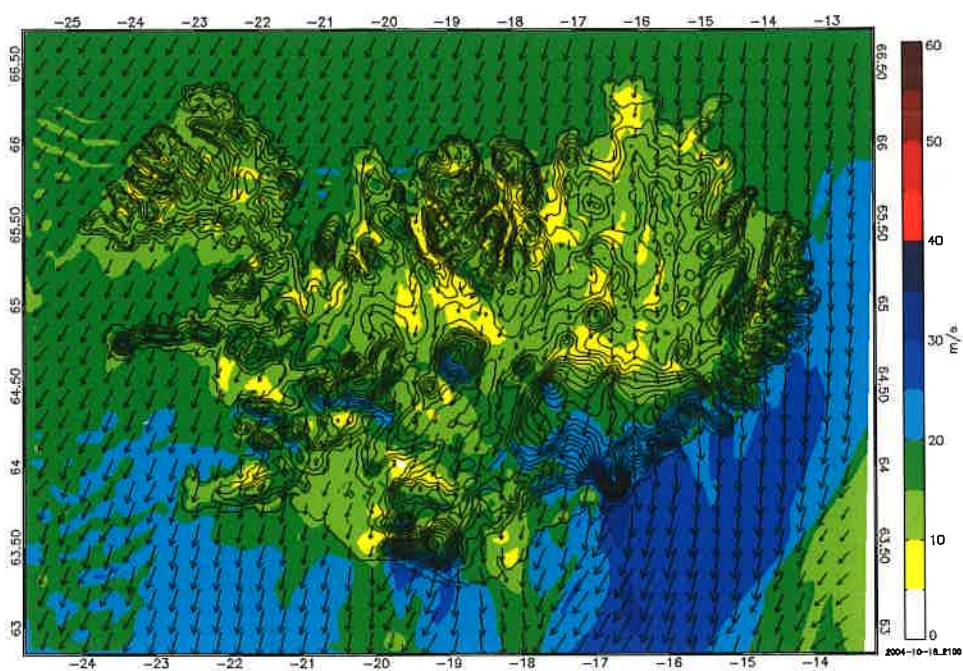
4.2 Norðanóveðrið við Kvísker 18. október 2004

Í óveðrinu 18. okt. 2004 fór vindstyrkurinn í nær 50 m/s í verstu hviðunum nærri miðnætti 18. okt. Hviðustuðullinn, þ.e.a.s. hlutfall mestu hviðu og meðalvinds var nærri 1,75. Í meira en 2 sólarhringa var hviðustyrkurinn í norðanáttinni yfir 30 m/s og meðalvindurinn meiri en 15 m/s (11. mynd).



11. mynd: Mældur meðalvindur, f , og vindhviður, f_g , [m/s] við Kvísker í norðanóveðrinu 18. okt. 2004.

Reikningar á veðri í 3 og 1 km upplausn sýna mestan vindstyrk hlémeigin fjalla og úti fyrir Austfjörðum (12. mynd). Eins er hvasst úti fyrir Suður- og Suðvesturlandi en almennt er vindur hægastur um norðanvert landið.

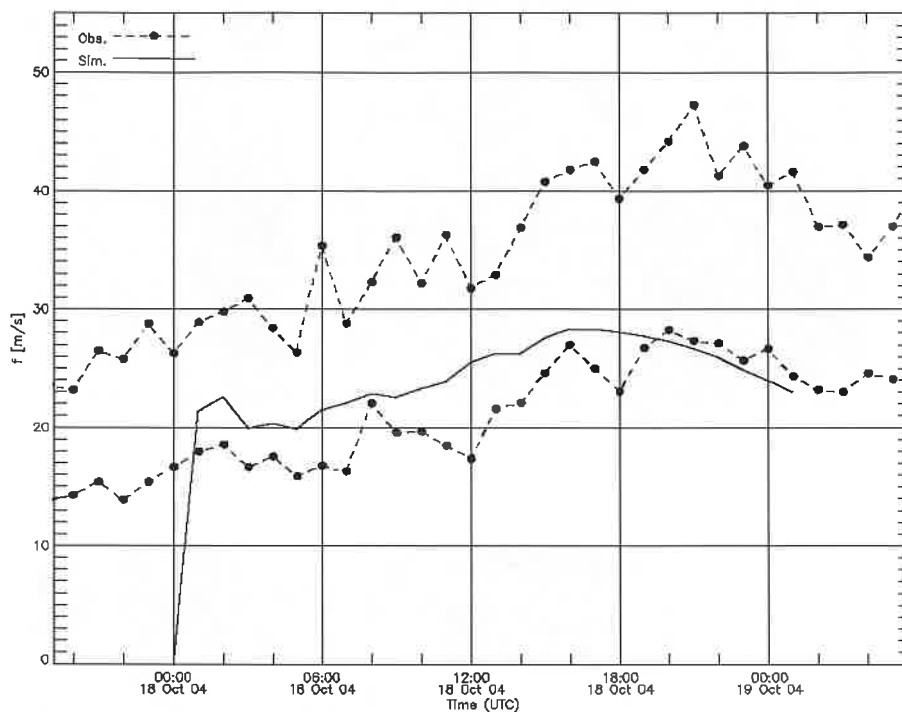


12. mynd: *Reiknaður vindur [m/s] kl. 21:00 18. okt. 2004 við yfirborð jarðar í reiknineti með 3 og 1 km víða möskva.*

Með því að auka lárétta upplausnina í 1 km úr 9 og 3 km sést vel hve mikil áhrif landslagsins eru á vindasviðið. Reiknaður vindstyrkur er mjög breytilegur nærri Vatnajökli og er minnstur norðan hans. Hámarks vindstyrkur breytist lítið við að fara úr 3 km víðum möskvum í 1 km víða möskva en hins vegar verður breytileikinn í vindasviðinu raunveru-

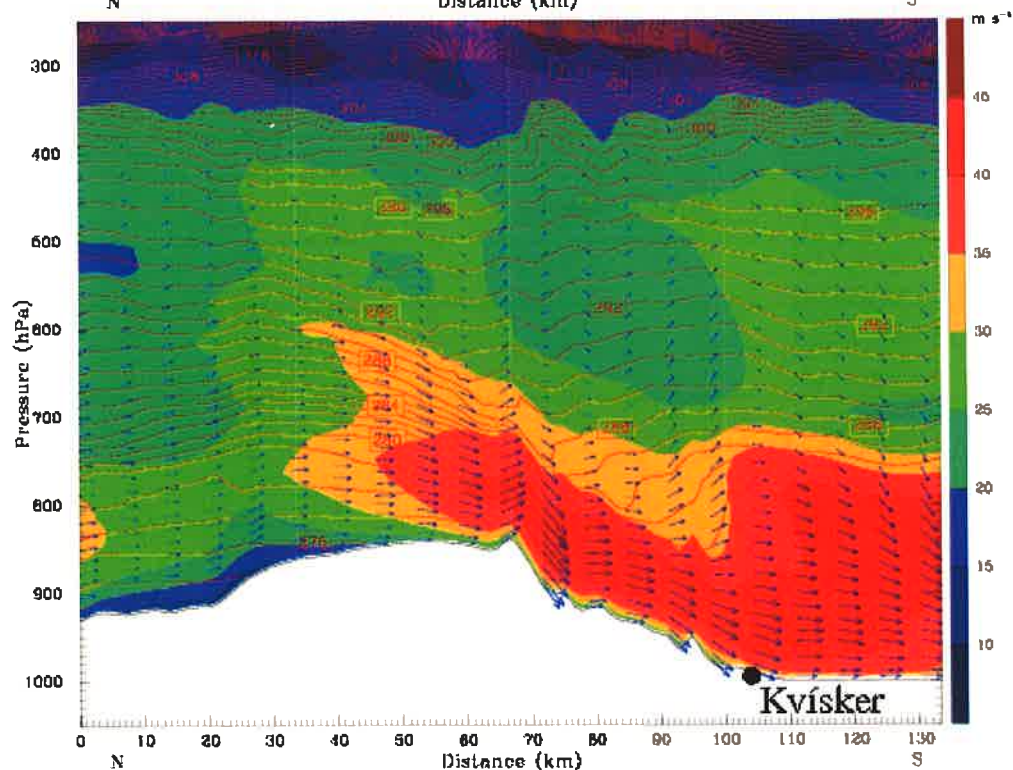
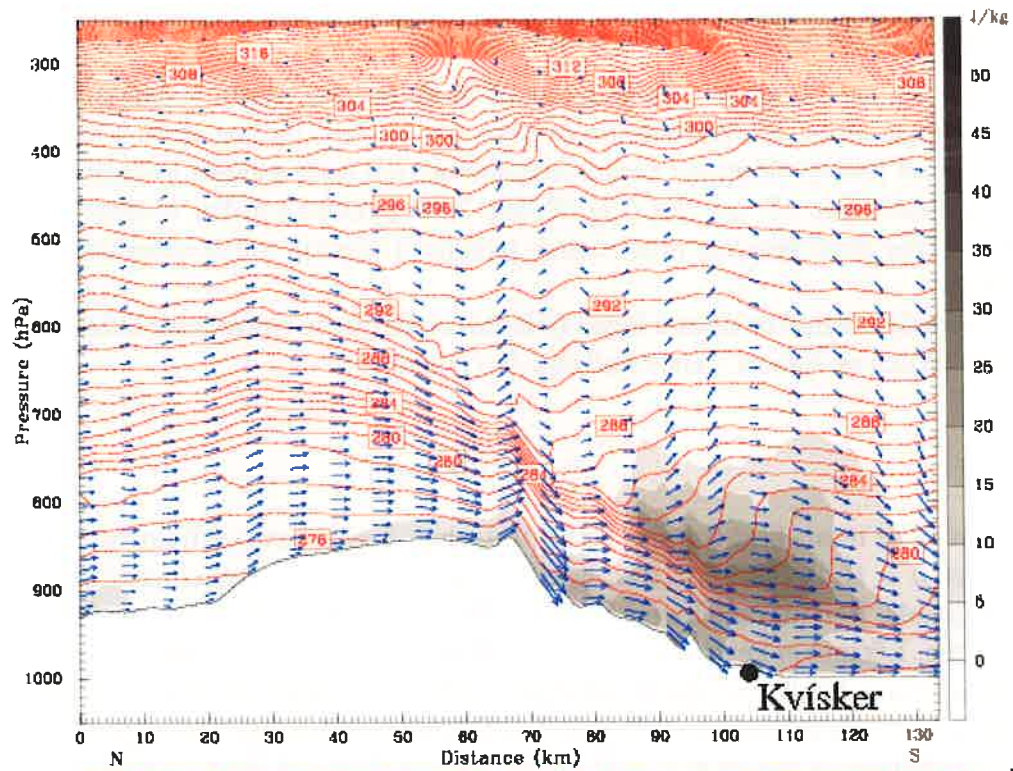
legri og óveðrið sunnan jökulsins betur afmarkað í rúmi.

Reiknuðum og mældum vindi við Kvísker ber nokkuð vel saman (13. mynd), jafnt í 3 sem 1 km víðum reiknimöskvum. Vindur er ofmetinn um nær 5 m/s í upphafi en líkanið fer nærri því að meta hámarksstyrk meðalvindsins. Mesta skekkjan er vegna hliðrunar í tíma á toppi óveðursins en það byrjar að lægja of snemma í líkaninu. Á öðrum veðurstöðvum er almennt nokkuð gott samræmi milli reiknaðs og mælds vinds (sjá viðauka).



13. mynd: *Reiknaður vindstyrkur í 3 km reiknineti, og mældur meðalvindur og vindhviður, við Kvísker.*

Snið A í NS-stefnu, líkt og meginvindstefnan, yfir Vatnajökul og Kvísker sýnir að í loftstraumnum hlémegin jökulsins myndast straumstökk (14. mynd). Ofan við hábungu jökulsins byrja jafnmættishitalínurnar að þéttast og halla niður til suðurs en á sama tíma herðir á vindinum og það hversir mjög í neðri hluta veðrahvolfsins. Við jaðar jökulsins nærri Kvískerjum verður straumstökk, bylgjan brotnar, og þar er mikil kvikuorka (TKE) og afar hvasst.



14. mynd: Jafnmættishitalínur [K], kvikuorka [J/kg] (efri mynd), vindstyrkur [m/s] (neðri mynd) og vindörvar kl. 21:00 18. okt.2004 í sniði B yfir Vatnajökul og Kvísker í reiknineti með 1 km víða möskva.

Samskonar straumamyndur er víðar ofan jökulsins og á öðrum tímum í óveðrinu.

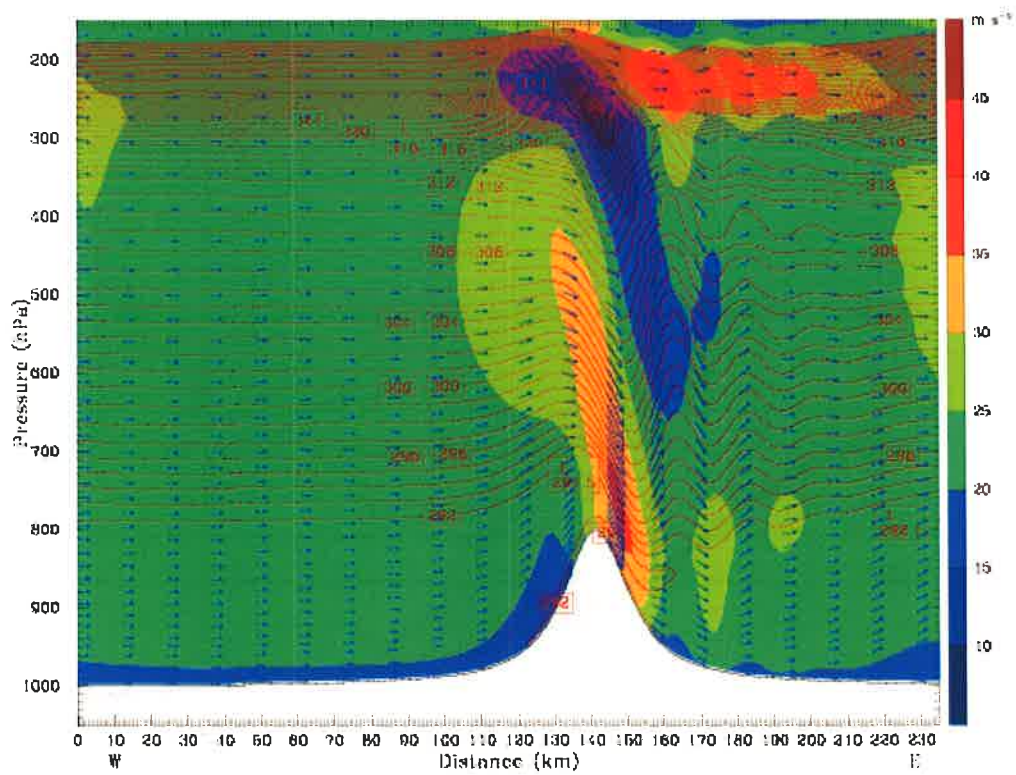
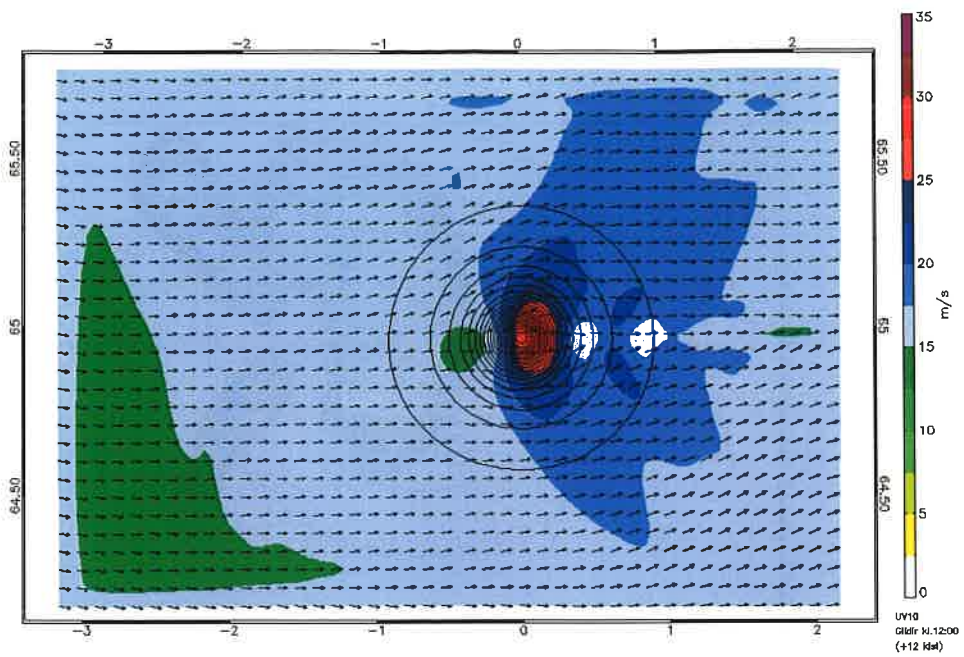
5 ÓVEÐUR OG FÁGAÐ LANDSLAG

Sniðin í 10. og 14. mynd gefa til kynna að gróflega megi skipta veðrahvolfinu lóðrétt í tvo hluta. Neðri hluta jaðarlagsins sem er nærri því hlutlaus og svo stöðugt loft þar fyrir ofan. Samkvæmt þessari skiptingu verður meginmunurinn milli ástands lofthjúpsins í vestan- og norðanóveðrunum 25. jan. 2007 og 18. okt. 2004 þykktin á neðra, hlutlausu, laginu. Til að kanna nánar áhrif þessarar mismunandi þykktar á óveðrin við Kvísker eru gerðar nokkrar tilraunir.

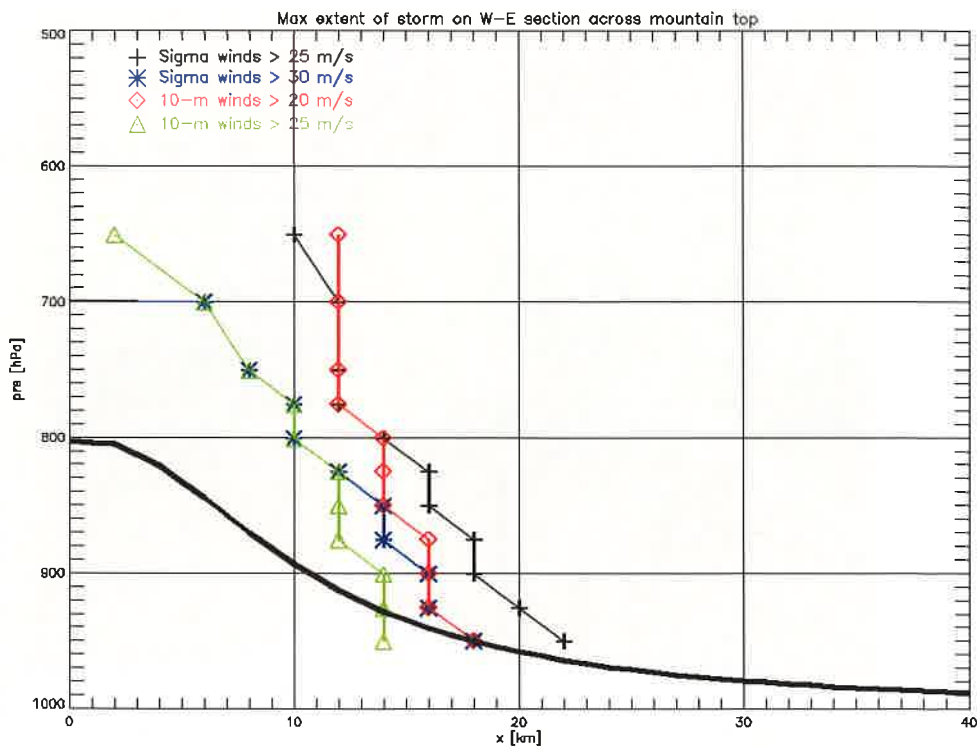
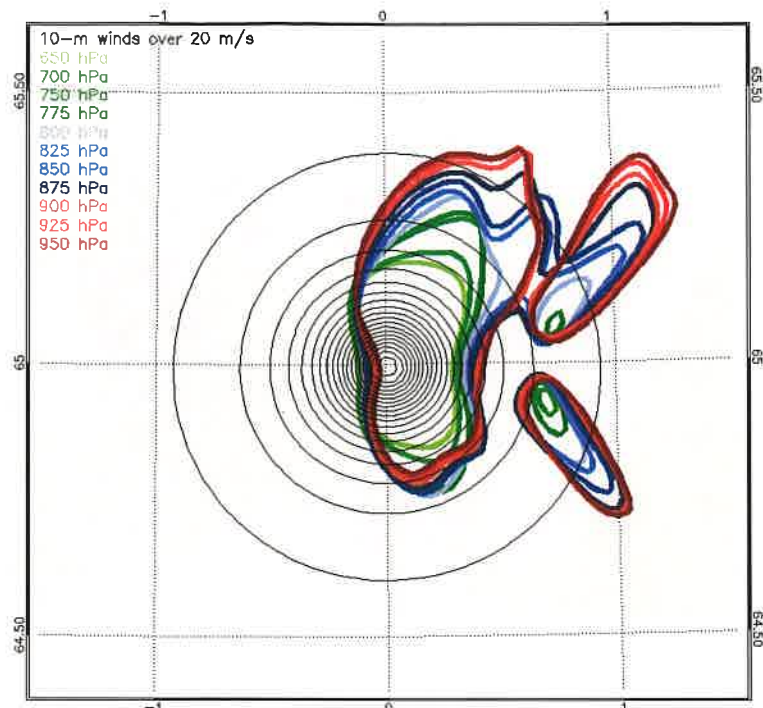
Lofthjúpslíkanið er keyrt á fágáð fjall sem er skilgreint samkvæmt líkingunni sem kennd er við “Witch of Agnesi”. Hæð fjallsins, h , í punkti x er

$$h = \frac{H a^2}{(x^2 + a^2)} \quad (1)$$

þar sem H er mesta hæð fjallsins í $x = 0$ en a hálf breidd þess í skilningnum að þegar $x = a$ gildir að $h = H/2$. Hér gildir að $a = 10$ km og $H = 2000$ m sem er nærri sama hæð og hæð Örafajökuls. Reiknisvæðið eru 91x131 punktar með 2 km víða möskva og topp lofthjúpsins í 100 hPa. Líkanið er keyrt í 12 klst með mismunandi upphafsskilyrði sem eru eins fyrir utan hæðina á toppi hlutlausu lagsins (sjá dæmi í viðauka). Vindstyrkurinn er 25 m/s ofan lagsins en næst yfirborði er hann nærri 15 m/s. Lofthjúpurinn er þurr og ekki er gert ráð fyrir áhrifum vegna geislunar en annars er svipuð uppsetning notuð og við líkanreikningana í fyrri köflum.



15. mynd: Reiknaður vindur [m/s] í faguðu landslagi með topp hlutlausu lagsins í 800 hPa. Efri myndin sýnir 10-m vind við yfirborð en hin vind og mættishita [$^{\circ}\text{C}$] í sniði í VA-stefnu yfir fjallið.



16. mynd: Útbreiðsla óveðurs yfir fjallinu m.v. mismandi þykkt á hlutlausu lagsinu. Efri myndin sýnir 20 m/s jafnhraðalínuna fyrir 10-m vind. Sú neðri mestu útbreiðslu í sniði með VA-stefnu yfir toppi fjallsins fyrir 10-m og sigma-3 vind og mismunandi lágmarksvindhraða. Hæðarlínur eru sýndar hverja 100 m.

Almennt má lýsa vindasviðinu (sjá 15. mynd) í reikningunum á þann veg að vindmegin fjallsins hægir straumurinn eilítið á sér þegar fjallið heldur á móti straumnum. Við það að

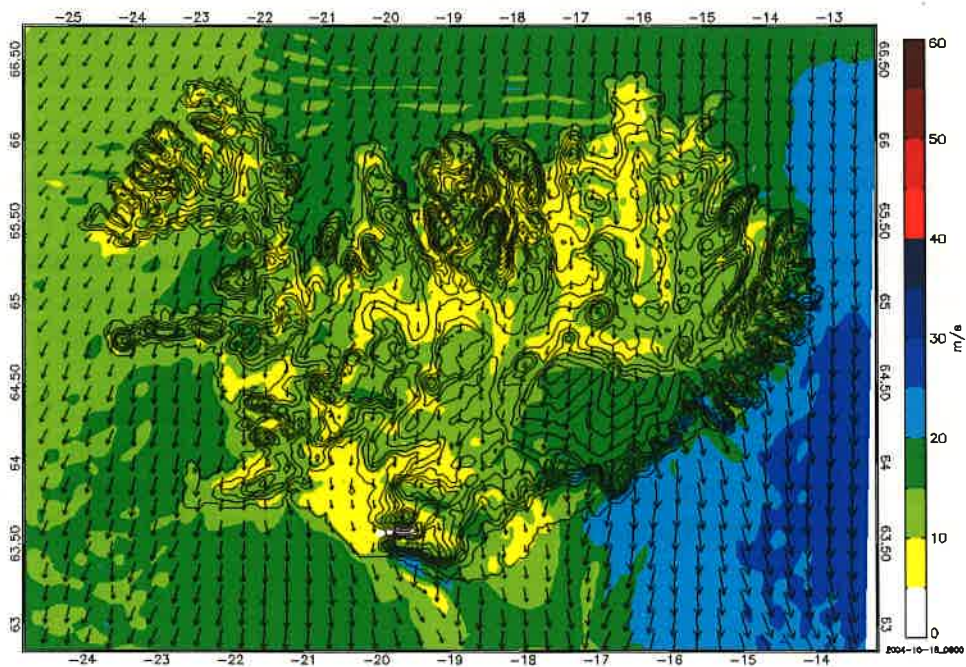
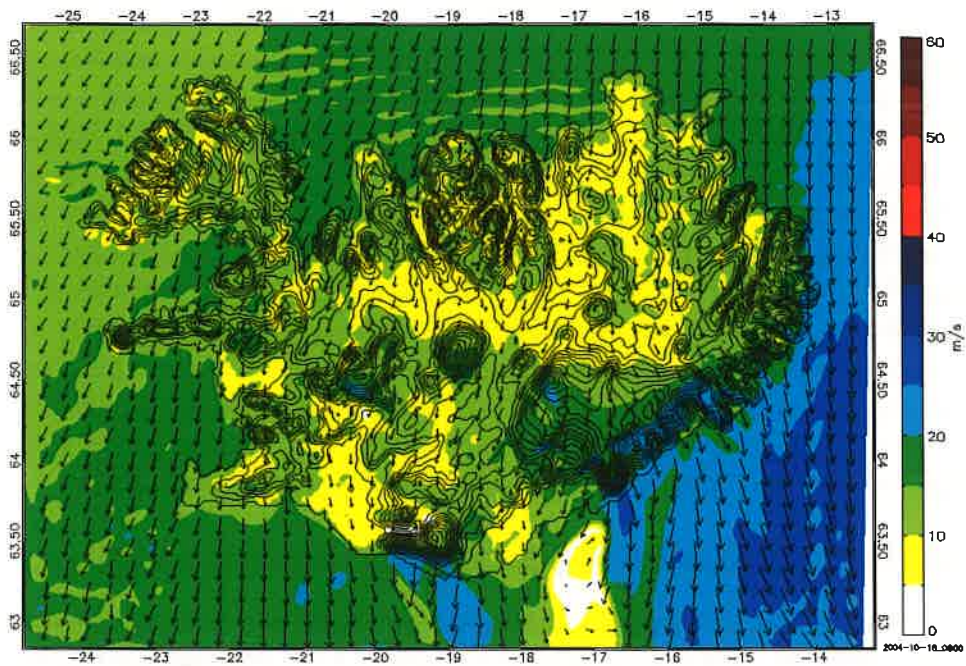
hægja á sér beygir straumurinn eilítið til vinstri vegna minnkandi áhrifa frá svigkrafti jarðar og því er vindasviðið ekki samhverft. Vinstra megin fjallsins, þegar horft er í vindstefnuna, verður staðbundið hámark í vindröst þegar loftmassinn þrýstir sér meðfram fjallinu. Hlémegin fjallsins verða áhrifin mest en undir toppnum verður mikil mögnun á vindstyrknum sem er háð því hve hæð hlutlausu lagsins er (16. mynd). Þessi mögnun á vindasviðinu verður í niðurstreyminu undir þyngdarbylgjunni sem myndast í straumnum ofan fjallsins. Því þynnra sem hlutlausu lagið er því umfangsmeiri verða óveðrin og ná lengra niður hlíðar fjallsins. Í sniði með V-A stefnu yfir topp fjallsins virðist aukningin því sem næst línuleg á því bili sem er skoðað þ.e. 650–950 hPa en þó aukast áhrif fjallsins á loftstrauminn mest þegar jaðarlagið er nærri því að vera jafnþykkt og hæð fjallsins. Hlémegin fjallsins myndast vök sem minnir á kjölsog báts (e. bow wave) þar sem bylgjumynstrið hefur “V”-lögun með upphaf í fjallstoppinum (sjá viðauka). Samhverfu vindhámörkin á fjallsöxlunum (sjá 15. og 16. mynd) eru undir öðrum bylgjutoppunum á jaðri vakarinnar og eflast mjög þegar þykkt hlutlausu lagsins verður minni en hæð fjallsins en á sama tíma styrkist jafnframt vindröstin.

6 ÁHRIF VATNAJÖKULS Á ÓVEÐUR VIÐ KVÍSKER

Það verður að teljast líklegt að ef jökull hyrfi af Örafajökli að þá myndi hann að jafnaði lækka tiltölulega lítið. Þó ísinn sé þykkur í sjálfri öskjunni þá ná öskjubarmar Örafajökuls víða upp úr ísnum og ísinn því tiltölulega þunnur á brúninni fyrir utan í sjálfum skriðjökklunum sem renna frá honum. Það er því ólíklegt að það hefði mikil áhrif á vestanóveður við Kvísker þó jökull hyrfi af Örafajökli þó vissulega sé ekki hægt að útiloka að svo sé. Öðru máli gegnir líklega um norðanóveðrin. Þá streymir loftstraumurinn yfir þykkann meginjökul Vatnajökuls áður en hann lendir á Kvískerjum.

Til að rannsaka þetta frekar var því gerð einföld tilraun þar sem norðanóveðrið frá 18. okt. 2004 var hermt með nýju landslagi þar sem allnokkur ís var fjarlægður af jökklunum. Jöklarnir voru þynntir með því að fjarlægja allt land hulið ís og brúa svo hæðina á því landi út frá jöðrum jöklanna. Með þessum hætti fer reyndar lækkun jöklanna og breyting landslagsins töluvert eftir upplausn reikninsins, sem er sem fyrr 9, 3 og 1 km. Það veldur hins vegar ekki vandamáli í líkankeyrslunum þar sem fínni reikninetin hafa ekki áhrif á grófari netin, heldur einungis öfugt. Vatnajökull þynnist langmest stóru jöklanna.

Niðurstöður þessarar tilraunar sjást í 17. mynd en við munum einblína á Vatnajökulssvæðið. Hafa ber í huga að með 3 km víðum möskvum þynnist Vatnajökull töluvert en eins lækkar Örafajökull nokkuð. Tilraunin lýsir því tvennu: 1) áhrifum þynnri Vatnajökuls á framtíðarveður við Vatnajökul og 2) staðbundnum áhrifum landslags, þ.e. hárra fjalla líkt og Örafajökuls, á veður.



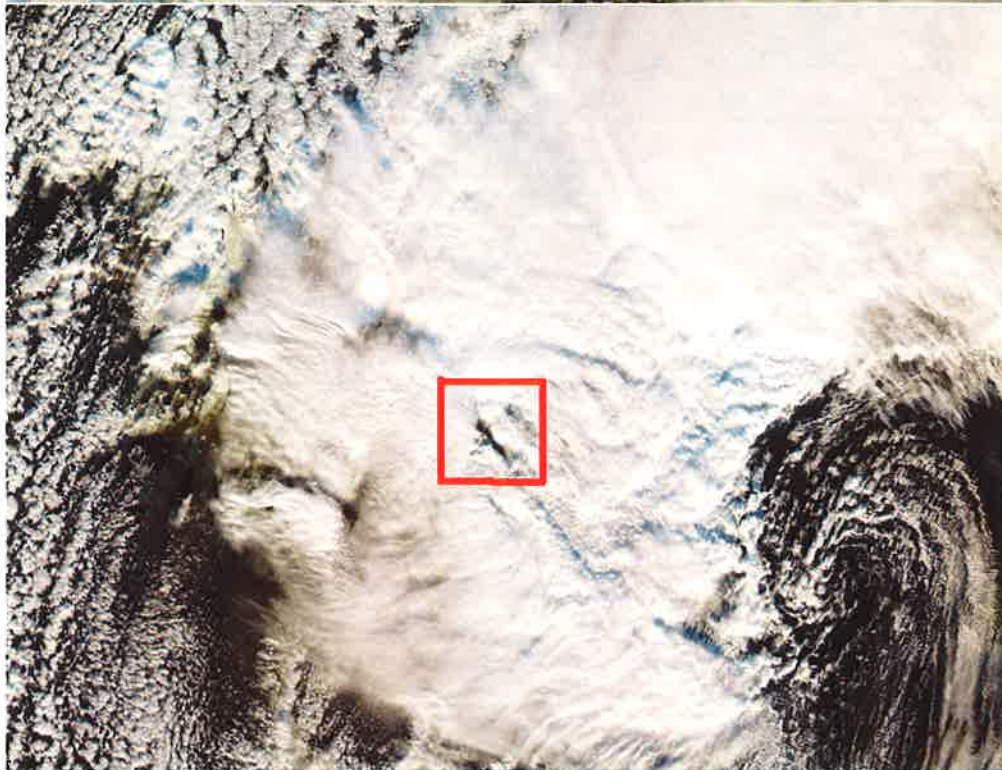
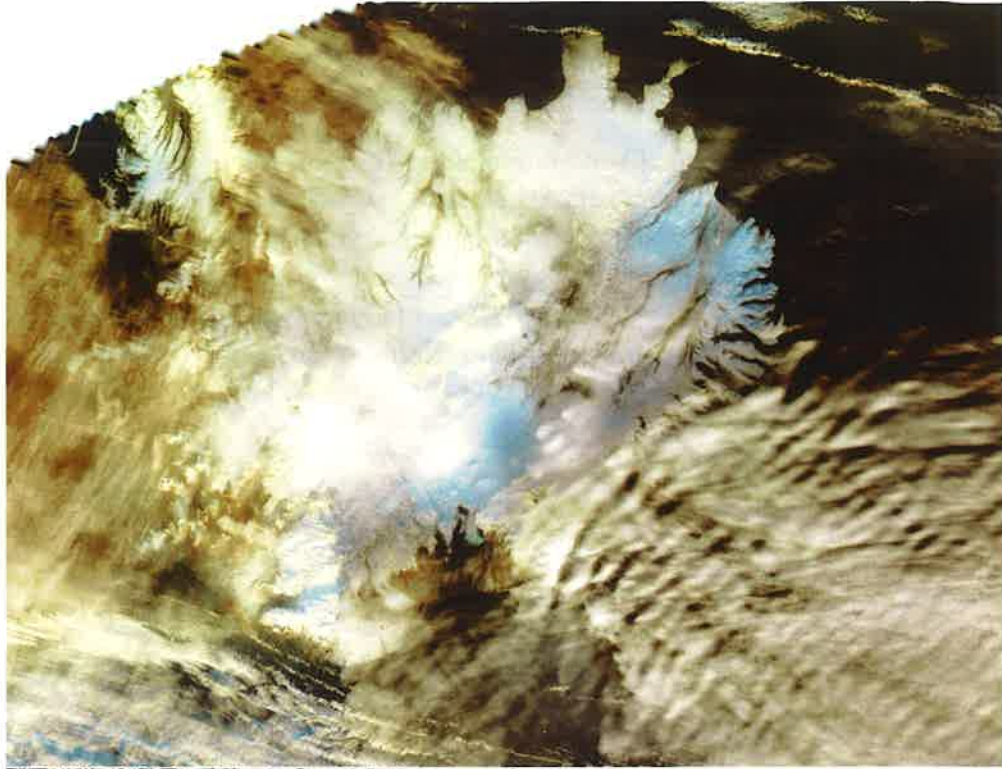
17. mynd: Reiknaður vindur [m/s] kl. 06:00 18. okt. 2004 við yfirborð jarðar í reiknineti með 3 víða möskva, og réttum jöklum (efri mynd) og þynntum jöklum (neðri mynd).

Óveðrið við Kvísker er eilítið veikara þegar Vatnajökull hefur verið þynntur en það er í samræmi við að þyngdarbylgjan eða straumstökkið hlémegin jökulsins veikist nokkuð þegar hann þynnist (ekki sýnt hér). Mesta breytingin er fyrir sunnan Öræfajökulinn þar sem hægviðrið og öfuga flæðið hverfur þegar Vatnajökull og Öræfajökull lækka. Í stað þess er

alls staðar norðanátt sunnan jökulsins og vindhraði nærri 15 m/s.

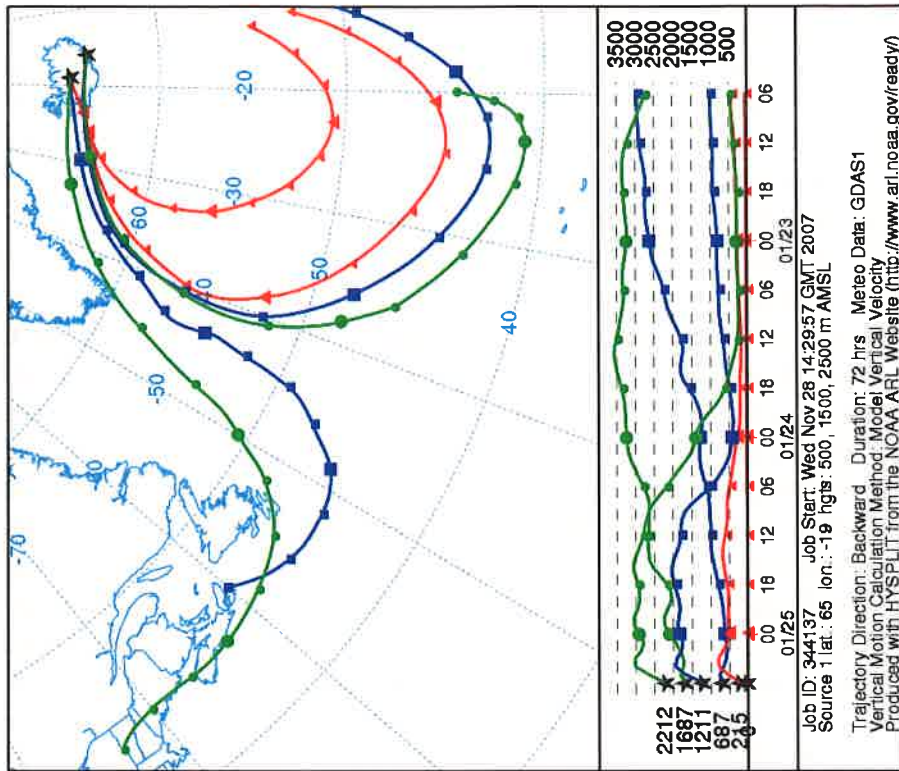
7 UMRÆÐA UM NIÐURSTÖÐURNAR

Samanburður á sniðunum úr líkanreikningunum (t.d. 10. og 14. mynd) við athuganir frá AQUA/TERRA gervitunglunum gefa til kynna að þyngdarbylgjur komi við sögu í óveðrunum við Kvísker (18. mynd). Í vestanóveðrinu bendir skýjafarið suðaustur af landinu til að þar séu einmitt nokkuð öflugar þyngdarbylgjur í neðri hluta veðrahvolfsins. Skýin myndast þegar loftrakin þéttist í toppi hvernar bylgju en eyðast í niðurstreyminu í bylgjunum. Vísbendingar um þyngdarbylgjurnar sjást einnig í norðanóveðrinu þegar landið er að mestu hulið skýjum en nærri, og einkum vestan við, Örefajökul er gat í skýjahulunni sem er vísbending um öflugt niðurstreymi.

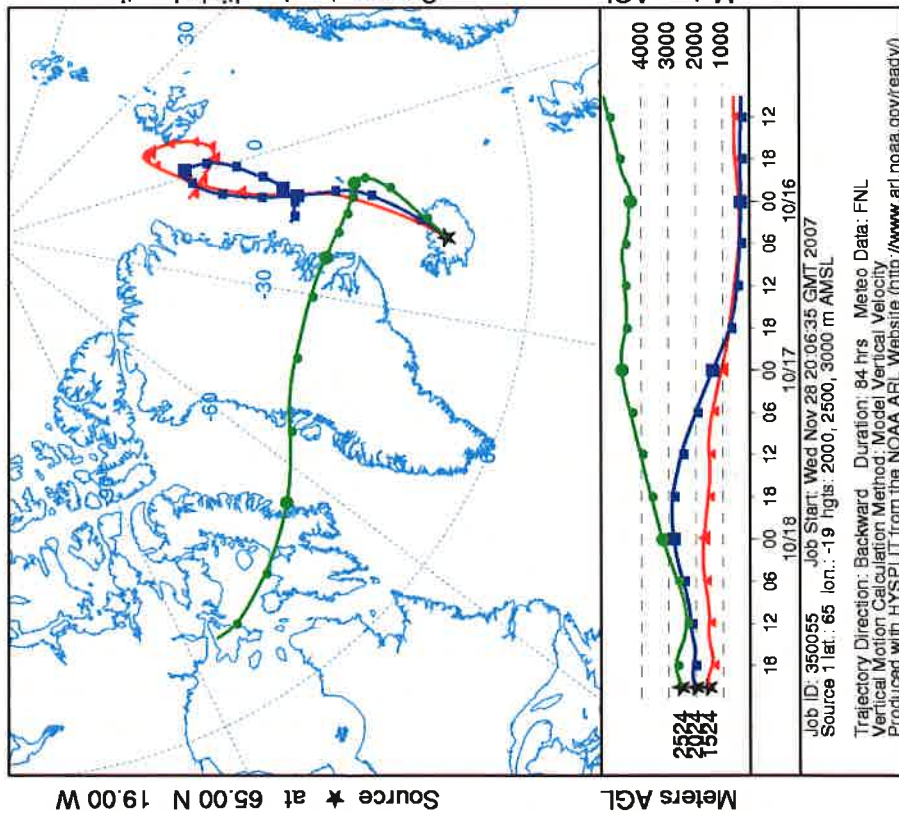


18. mynd: MODIS-myndir frá AQUA/TERRA tunglinu. Efri myndin sýnir Ísland kl. 12:25 25. jan. 2007 en sú neðri kl. 12:55 18. okt. 2004. Áberandi er bylgjumynstrið í skýjahulunni úti fyrir Suðausturlandi en rauði kassinn afmarkar svæði rétt vestan við Örfajökul þar sem greina má stærstu skriðjöklana.

NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 06 UTC 25 Jan 07
GDAS Meteorological Data



NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 21 UTC 18 Oct 04
FNL Meteorological Data



19. mynd: Uppruni loftmassanna 25. jan. 2007 og kl. 12:55 18. okt. 2004 við Kvísker skv. HYSPLIT-líkani NOAA.

Nánari athugun á uppruna loftmassanna (19. mynd) í óveðrunum gefur til kynna að í norðanóveðrinu 18. okt. 2004 eigi loftmassinn rætur sínar að rekja norðan úr Íshafi. Jaðarlag

slíkra loftmassa þykkar jafnan nokkuð á leið sinn suður á bóginn þegar kalt heimskautalofthjúf streymir yfir hlýrri sjó og verður óstöðugt (sbr. Ólafsson og Økland 1994). Vestanóveðrin eiga sér hinsvegar nokkuð suðrænni uppruna sem útskýrir að nokkru leyti af hverju hlutlausu lagið er nokkuð þynnra en í norðanóveðrunum. Þar hefur hlýtt loft streymt yfir kaldari sjó, kólnað og orðið stöðugra fyrir vikið en nokkuð sterkur vindur tryggir þó nokkra blöndun.

Samanburður á líkanreikningum og mælingum gefur til kynna að í vestanóveðrinu nái lofthjúpslíkanið ekki fyllilega að líkja eftir mesta styrk óveðrana (9. mynd). Ef tekið er tillit til þess að smávægileg hliðrun eða breyting í umfangi óveðursins breytir mjög styrk óveðursins á Kvískerjum þá má a.m.k. útskýra skekkjuna að einhverju leyti. Tilraunir með fágáð landslag sýna að breytingar í hæð hitahvarfanna í veðrahvolfinu hafa mikil áhrif á umfang og styrk óveðursins hlémegin fjallanna. Sé þykkt hlutlausu lagsins þá að einhverju leyti röng þá er ekki hægt að ætla að líkanið geti hermt flæðið hlémegin. Þetta undirstrikar mikilvægi þess að jaðar- og upphafsskilyrðin sem þvinga lofthjúpslíkanið séu eins nákvæm og auðið er, og þar skiptir líklega einna mestu máli að lóðrétt og lárétt upplausn skilyrðanna sé nægjanleg svo t.d. hæð mögulegra hitahvarfa sé sem réttust. Slík vandamál hafa einmitt áður komið upp í rannsóknum á úrkomu á Reykjanesi (Rögnvaldsson et al. 2007b) þar sem niðurstöður líkanreikninga voru mjög háðir lóðréttri upplausn og uppruna jaðarskilyrðanna.

Hluti af vandamálunum og skekkjunum í líkanreikningunum minnir á sambærileg vandamál í öðrum rannsóknum á óveðrum nærri fjöllum, t.a.m. Ágústsson og Ólafsson (2007); Ólafsson og Ágústsson (2007). Hluti skekkjunnar tengist líklega eðli sjálfra líkananna sem almennt standa sig vel í að reikna það sem má skilgreina sem einhvers konar meðalgildi, t.d. vinds og hita. Líkönin eiga hins vegar mun erfiðara að ná miklum sveiflum í bæði tíma og rúmi, t.d. í vindasviðinu nærri fjöllum þar sem vind- og hviðustyrkurinn verður jafnan mestur (Ágústsson og Ólafsson 2004b). Hærrí upplausn lofthjúpslíkansins bætir þó spárnar eins og þessi rannsókn gefur til kynna og þá einkum nærri háum og bröttum fjöllum. Eins má ætla að hluti skekkjunnar tengist landslagi á kvarða sem líkanið leysir ekki upp við 3 og 1 km en það er í samræmi við aðstæður við Kvísker og hve staðbundin óveðrin eru þar. Ýmislegt bendir til að bæta megi líkanreikninga með því að auka láréttu upplausnina enn frekar en það er þó háð því að lofthjúpslíkanið ráði við þá upplausn svo forsendum fyrir t.d. jaðarlagsreikningunum sé enn fullnægt (sjá t.d. (Deng og Stauffer 2006)). Til eru nýrri lofthjúpslíkön líkt og t.d. WRF-líkanið (Skamarock et al. 2005) sem ráða við hærri upplausn en MM5-líkanið en þau líkön hentuðu þó ekki við þessa rannsókn.

Þess ber að gæta að breytingin í umfangi og hæð Vatnajökuls í tilrauninni 6. kafla er ekki að öllu leyti raunveruleg. Það kemur þó ekki að sök þar sem tilrauninni er einkum ætlað að sýna fram á áhrif Vatnajökuls á flæðið sunnan hans. Líkanreikningarnir gefa sterklega til kynna að vænta megi breytinga á þeim áhrifum í framtíðinni þegar jökullinn þynnist og minnkar, en þá er ekki tekið tillit til mögulegra breytinga í veðurfari vegna hlýnandi loftslags. Þessi tilraun gefur tilefni til að athuga betur áhrif jökulsins og landslagsins undir honum á vindasviðið nærri jöklinum. Slíkar tilraunir eru einmitt mögulegar þar sem að á undanförunum 1–2 áratugum hafa starfsmenn Jarðvísindastofnunar Háskóla Íslands (áður hluti af Raunvísindastofnun HÍ) safnað upplýsingum um hæð jökulsins sjálfs og landslagsins undir honum. Að lokum er hér rétt að benda á að skjóláhrif Vatnajökuls á flæðið sunnan Vatnajökuls hafa verið mæld og lofthjúpslíkön ná að líkja eftir þeim (sjá viðauka).

8 SAMANTEKT

Óviða eru veður og veðurfar jafn flókið og breytilegt og í Örafum þar sem brött fjöll og háreistir jöklar hafa ýmist áhrif til að magna upp ofsveðrin og úrkomuna eða til myndunar skjóláhrifa og veðursældar. Hér hafa verið rannsökuð staðbundin óveður sem verða við Kvísker í Örafum. Greining á ástandi lofthjúpsins og samanburður við mælingar frá Kvískerjum bendir til að óveðrin séu aðallega af tveimur gerðum. Í fyrri gerðinni er hvöss vestanátt í öllu veðrahvolfinu en í hinu er hvöss norðaustan- eða norðanátt í neðri hluta veðrahvolfsins en hægari vindur ofar. Óveðrin við Kvísker eru að mörgu leyti ólík óveðrunum sem verða í austanáttum við Freysnes (Ólafsson og Ágústsson 2007) vestan Örafajökuls. Þá háttar oft þannig til að það er öfugur vindskurður með hæð, þ.e.a.s. að það er hvasst í neðra hluta veðrahvolfsins en hægari vindur ofar. Fjallabylgjur sem myndast í austanátt yfir Örafajökli eru því t.d. líklegri til að ofrísa og brotna heldur en bylgjur sem myndast í vestanátt yfir Kvískerjum þegar vindhraði er nokkuð stöðugur með hæð.

Líkanreikningar á verstu óveðrunum af báðum gerðum við Kvísker gefa til kynna að í báðum tilfellum verði staðbundin mögnun á óveðrinu hlémegin fjalla. Í vestanóveðrunum myndast fjallabylgjur með mikið útslag hlémegin Örafajökuls og teygja þær sig nokkuð langt frá fjallinu þó að óveðrin ná stutt frá rótum jökulsins. Í norðanóveðrunum myndast hins vegar straumstökk eða fjallabylgja sem brotnar hlémegin jökulsins og óveðrið teygir sig langt til suðurs frá fjöllum. Í báðum tilfellum eru Kvísker nokkuð nærri því að vera undir bylgjubrotinu og niðurstreyminu í fyrstu bylgjunni. Það passar vel við mældan vindhraða og hviðustuðul í óveðrunum, jafnvel þó líkanið sjálft vanmeti heldur vindstyrkinn niðri við yfirborð. Þetta er að mörgu leyti sambærilegt við fyrri líkanreikinga og rannsóknir á staðbundnum óveðrum á Íslandi, s.s. Ágústsson og Ólafsson (2007).

Í gerð 1, þ.e.a.s. vestanóveðrunum, er heldur þynnra hlutlaust lag næst yfirborði heldur en í norðanóveðrunum en í báðum óveðrum er loftið stöðugt þar fyrir ofan. Því voru gerðar tilraunir með fagað fjall þar sem þykkt hlutlausu lagsins við yfirborð var kerfisbundið breytt og áhrif þess á óveðrin athuguð. Tilraunirnar gefa til kynna að umfang óveðrana verði því mun meira sem lagið er þynnra. Umfangið vex því sem næst línulega með minnkandi hæð hlutlausu lagsins en þó virðist umfangið aukast hraðast þegar hæð fjallsins er svipuð og þykkt hlutlausu lagsins. Það kemur á nokkru leyti á óvart að sambandið sé ekki ólínulegra en líkantilraunirnar gefa til kynna og er tilefni til frekari rannsóknar á þessu fyrirbæri. Sambærileg óveður í jafnt raunverulegu sem og faguðu landslagi hafa verið rannsökuð af mörgum. Þó virðast fáir hafi tekið á viðfangsefninu á sama hátt og hér þó að t.d. rannsókn Vosper (2004) hafi farið þar nokkuð nærri en þar var horft til áhrifa hitahvarfa á ástand lofthjúpsins í fjallahæð en síður á vinda nærri yfirborði. Rétt er að benda jafnframt á mikilvægi þessara tilraunareikninga m.t.t. veðurspágerðar við svipaðar aðstæður og við Kvísker. Við ákveðnar aðstæður spá lofthjúpslíkön líkt og HRAS-kerfi Reiknistofu í veðurfræði (Ólafsson et al. 2006) fyrir um óveður við Kvísker sem ekki verður vart í mælingum. Það bendir til að óveðrin kunni að einskorðast við fjallshlíðarnar ofan mælistöðvarinnar og að þau nái ekki niður á láglandið.

Jafnframt er hér gerð einföld tilraun sem sýnir fram á að áhrif Vatnajökuls á flæðið sunnan hans í norðanáttum mun að öllum líkindum breytast töluvert þegar jökullinn þynnist á komandi öldum. Þessi áhrif Vatnajökuls og annarra fjalla á loftstrauminn koma illa fram í líkan- og veðurfarsreikningum í grófu neti. Í CE- og VO-verkefnum (Fenger 2007; Jóhannesson et al. 2007) voru t.d. athugaðar breytingar á framtíðarveðurfari á Íslandi. Vídd möskva líkansins sem þar var lagt til grundvallar er nærri því að vera 50 km og niðurstöðurnar gefa því til kynna breytingar fyrir landið í heild sinni eða einstaka landsfjórðunga. Ekki er hægt

að ætla að slík niðurkvörðun gefi góða mynd af staðbundnum breytingum sem vænta má í framtíðarveðurfari. Rannsóknir líkt og þessi á veðri við Kvísker sýna að sterkustu vindarnir, og jafnframt mesta úrkoman, verða í flóknu landslagi þar sem fjöll eru há og brött. Hærrí upplausn er því nauðsynleg til að líkja rétt eftir landslaginu og áhrifum þess á veður. Slíkar rannsóknir eru t.d. fyrirhugaðar í verkefninu "LOKS" (<http://os.is/ces>) þar sem nota á millikvarðalofthjúpsglíkan með fínriðið reikninet til að kvarða niður reikninga með veðurfarslíkani með grófari möskva.

Pakkir

Verkefnið var styrkt af Kvískerjasjóði. Rannsóknin er jafnframt hluti af RÁV-verkefninu sem er styrkt af RANNÍS.

9 HEIMILDIR

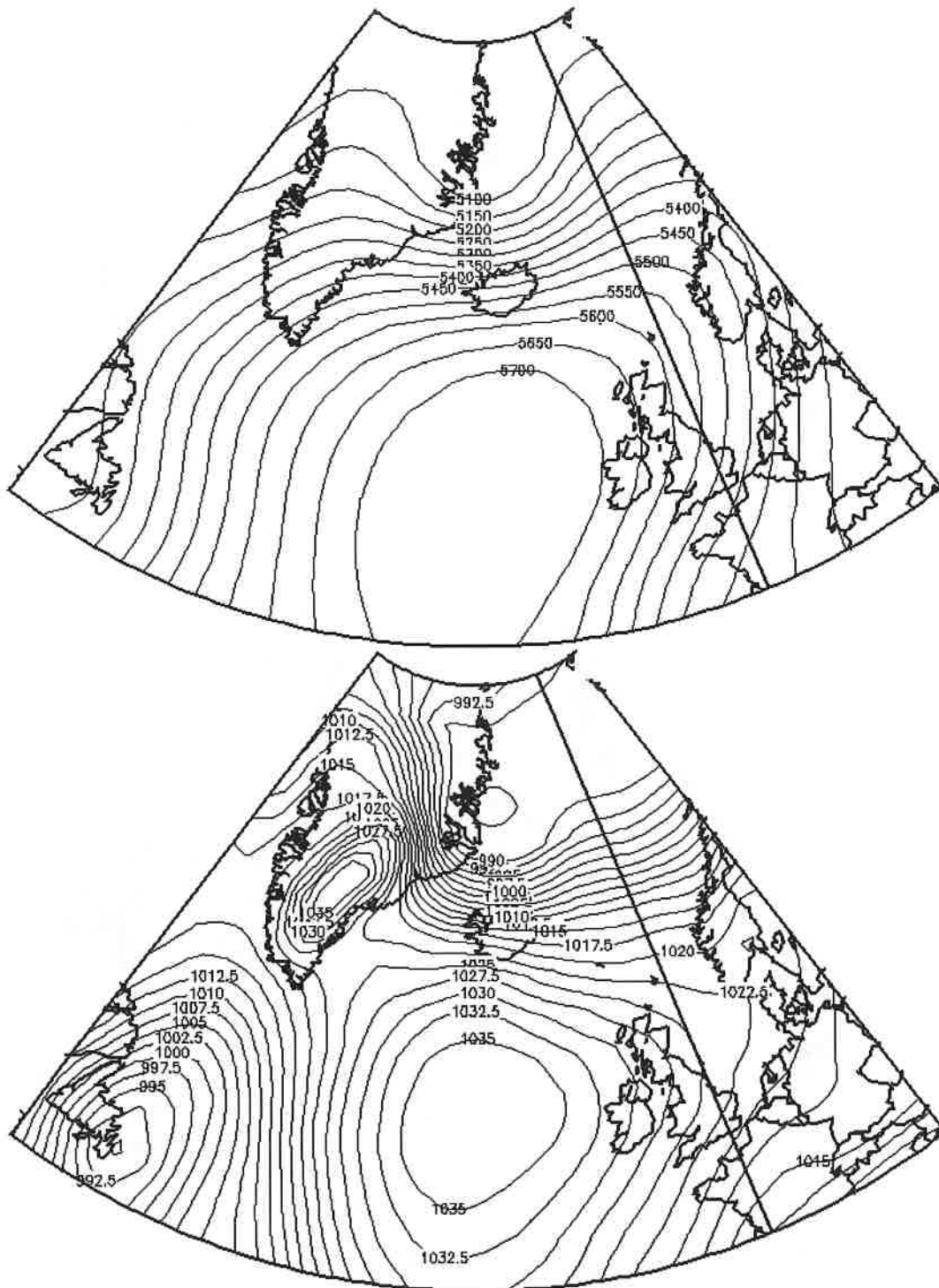
- Ágústsson, H. 2004. High-resolution numerical simulations of windstorms in the complex terrain of Iceland. Scientific report, Háskóli Íslands.
- Ágústsson, H. and H. Ólafsson 2004a. High-resolution simulations of windstorms in the complex terrain of Iceland. In: *Proc. of the 11th Conference on Mountain Meteorology and the Mesoscale Alpine Programme*, p. 4. Available at <http://www.ametsoc.org/meet/fainst/11mountain.html> (May 2004).
- Ágústsson, H. and H. Ólafsson 2004b. Mean gust factors in complex terrain. *Meteorol. Z.* 13, 149–155.
- Ágústsson, H. and H. Ólafsson 2007. Simulating a severe windstorm in complex terrain. *Meteorol. Z.* 16, 111–122.
- Clark, T. L. and R. D. Farley 1984. Severe downslope windstorm calculations in two and three spatial dimensions using anelastic interactive grid nesting: A possible mechanism for gustiness. *J. Atmos. Sci.* 41, 329 – 350.
- Clark, T. L., W. D. Hall and R. M. Banta 1994. Two- and three-dimensional simulations of the 9. January 1989 severe Boulder windstorm: Comparison with observation. *J. Atmos. Sci.* 51, 2317 – 2343.
- Deng, A. and D. R. Stauffer 2006. On improving 4-km mesoscale model simulations. *J. Appl. Meteor. Climatol.* 45, 361 – 381.
- Doyle, J. D., M. A. Shapiro, Q. Jiang and D. L. Bartels 2005. Large-amplitude mountain wave breaking over Greenland. *J. Atmos. Sci.* 62, 3106 – 3126.
- Durran, D. R. 1990. Mountain waves and downslope winds. In: *Atmospheric processes over complex terrain* (W. Blumen, editor), volume 23(45) of *American Meteorological Society Monographs*, pp. 59 – 81. American Meteorological Society, Boston.
- Fenger, J. (editor) 2007. *Impacts of climate change on renewable energy sources: Their role in the Nordic energy system*. Nordic council of ministers.
- Grell, G. A., J. Dudhia and D. R. Stauffer 1995. A Description of the Fifth-Generation PennState/NCAR Mesoscale Model (MM5). Technical Report NCAR/TN-398+STR, National center for atmospheric research. Available at <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/doc1.html> (May 2004).
- Grønås, S. and A. D. Sandvik 1999. Numerical simulations of local winds over steep orography in the storm over North-Norway on october 12, 1996. *J. Geophys. Res.* 104, 9107

– 9120.

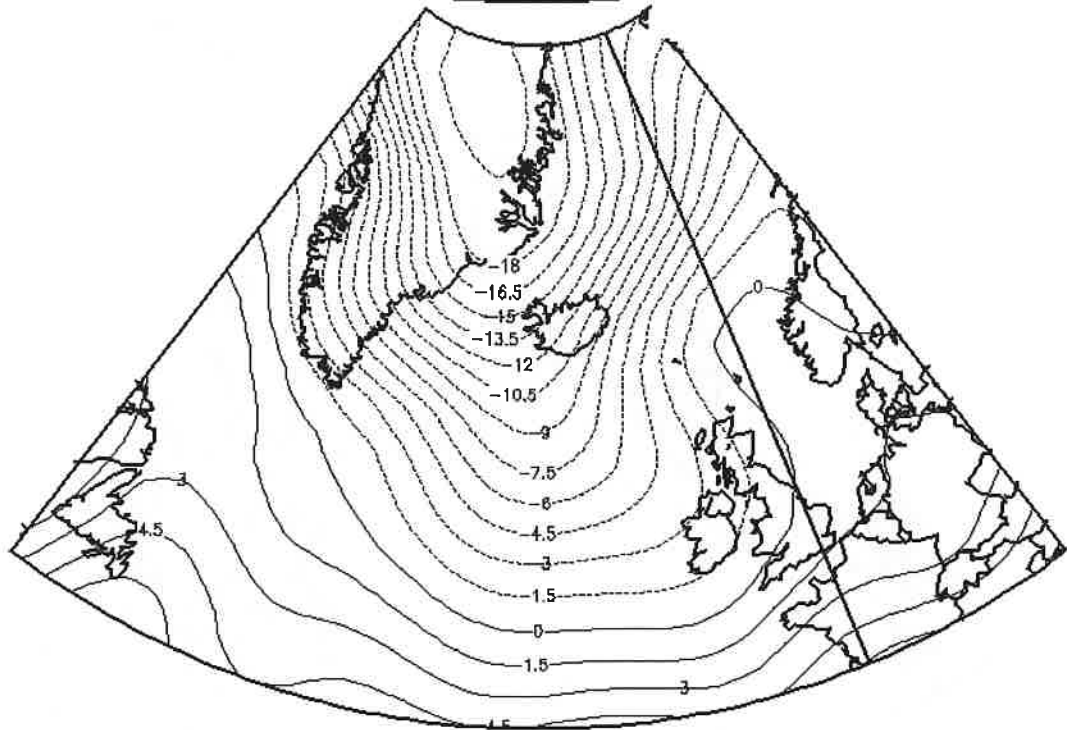
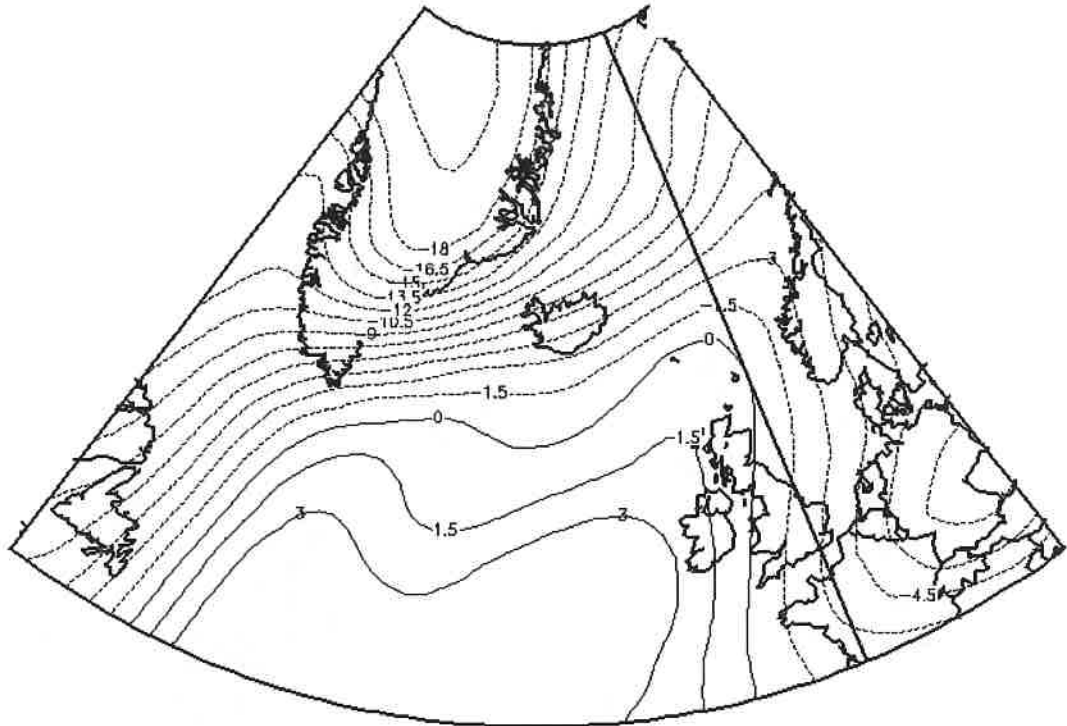
- Janjić, Z. I. 1990. The step mountain coordinate: Physical package. *Mon. Weather Rev.* 118, 1429 – 1443.
- Janjić, Z. I. 1994. The step-mountain eta coordinate model: Further development of the convection, viscous sublayer, and turbulent closure schemes. *Mon. Weather Rev.* 122, 927 – 945.
- Jóhannesson, T., G. Aðalgeirsdóttir, H. Björnsson, P. Crochet, E. B. Elíasson, S. Guðmundsson, J. F. Jónsdóttir, H. Ólafsson, F. Pálsson, Ó. Rögnvaldsson, O. Sigurðsson, Á. Snorason, Ó. G. B. Sveinsson and Þ. Þorsteinsson 2007. Effect of climate change on hydrology and hydro-resource in Iceland. Scientific Report OS-2007/011, Orkustofnun, Reykjavík.
- Mbl 2003a. Það ganga yfir afbrigðileg veður. 20 February 2003, *Morgunblaðið*, p. 7. The Icelandic morning paper.
- Mbl 2003b. Milljónatjón varð í stórhættulegum vindhviðum. 19 February 2003, *Morgunblaðið*, p. 4. The Icelandic morning paper.
- Ólafsson, H. and H. Ágústsson 2006. Observational and numerical evidence of strong gravity wave breaking over Greenland. Technical Report, ISBN 9979-9709-3-6, Reiknistofa í veðurfræði, Reykjavík.
- Ólafsson, H. and H. Ágústsson 2007. The Freysnes downslope windstorm. *Meteorol. Z.* 16, 123 – 130.
- Ólafsson, H., H. Ágústsson and H. Sigurjónsson 2002a. Two cases of downslope windstorms observed during the Snæfellsnes experiment (SNEX). In: *Proc. of the 23rd Nordic Meteorological Meeting*. Available at <http://www.vedur.is/starfsmenn/haraldur/> (May 2004).
- Ólafsson, H., N. Jónasson and S. Karlsdóttir 2006. Háupplausnar reikningar til almennrar spágerðar (HRAS), lokaskýrsla. Technical Report 06011, Veðurstofa Íslands, Reykjavík. Available at <http://www.vedur.is/utgafa/greinargerdir/> (March 2006).
- Ólafsson, H. and H. Økland 1994. Precipitation from convective boundary layers in arctic air masses. *Tellus* 46A, 4 – 13.
- Ólafsson, H., H. Sigurjónsson and H. Ágústsson 2002b. SNEX - The Snæfellsnes experiment. In: *Proc. of the 10th conference on mountain meteorology*, pp. 400 – 401. American Meteorological Society, Boston.
- Ólafsson, H. and P. Bougeault 1996. Nonlinear flow past an elliptic mountain ridge. *J. Atmos. Sci.* 53, 2465 – 2489.
- Ólafsson, H. and P. Bougeault 1997. The effect of rotation and surface friction on orographic drag. *J. Atmos. Sci.* 54, 192 – 210.
- Reisner, J., R. M. Rasmussen and R. T. Bruintjes 1998. Explicit forecasting of supercooled liquid water in winter storms using the MM5 mesoscale model. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 124B, 1071 – 1107.
- Rögnvaldsson, Ó., J.-W. Bao, H. Ágústsson and H. Ólafsson 2007a. Downslope windstorm in Iceland – WRF/MM5 model comparison. In review for publication in "*Atmospheric Chemistry and Physics*".
- Rögnvaldsson, Ó., J.-W. Bao and H. Ólafsson 2007b. Sensitivity simulations of orographic precipitation with MM5 and comparison with observations in Iceland during the Reykja-

- nes Experiment. *Meteorol. Z.* 16.
- Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang and J. G. Powers 2005. A description of the Advanced Research WRF version 2. Technical Report NCAR/TN-468+STR, National center for atmospheric research.
- Smith, R. B. 1985. On severe downslope winds. *J. Atmos. Sci.* 42, 2597 – 2603.
- Smith, R. B. 2004. Mountain meteorology and regional climates. In: *Atmospheric turbulence and mesoscale meteorology – Scientific Research Inspired by Doug Lilly* (E. Fedorovich, R. Rotunno and B. Stevens, editors), chapter 9, pp. 193–221. Cambridge University Press.
- Vosper, S. B. 2004. Inversion effects of mountain lee waves. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 130, 1723–1748.

A VIÐAUKI – VEÐURFAR Í ÓVEÐRUM VIÐ KVÍSKER

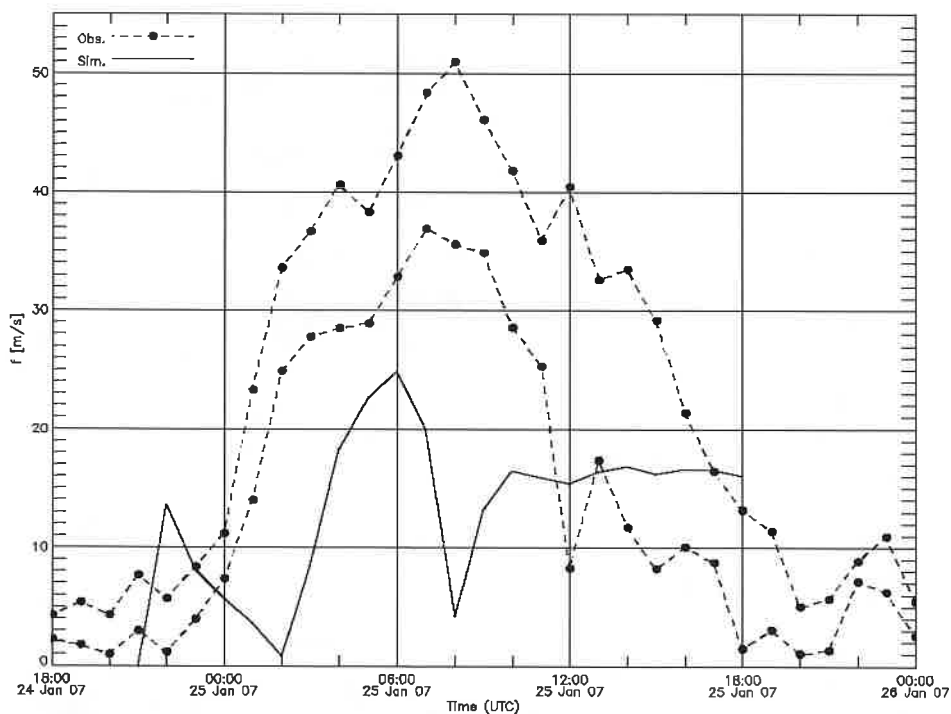
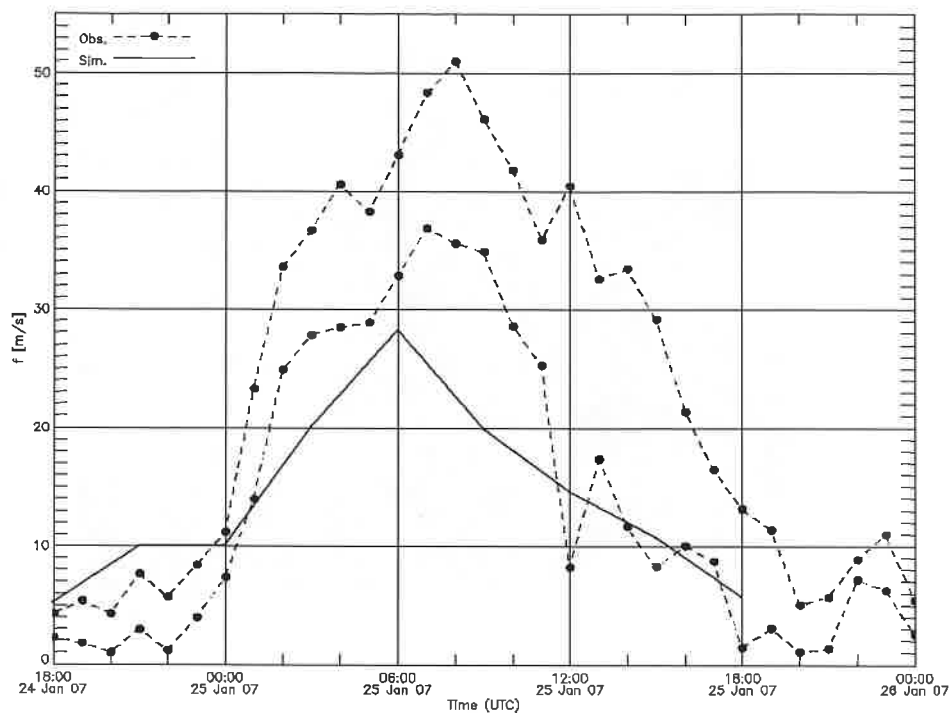


20. mynd: Meðalþyngdarmætti [m] í 500 hPa og meðaltal þrýstings [hPa] við sjávarmál þegar vindur við Kvísker fer yfir 50 m/s í vestlægum óveðrum (gerð 1). Gögnin koma frá NOAA/CDC og eru byggð á greiningu frá NCEP/NCAR.

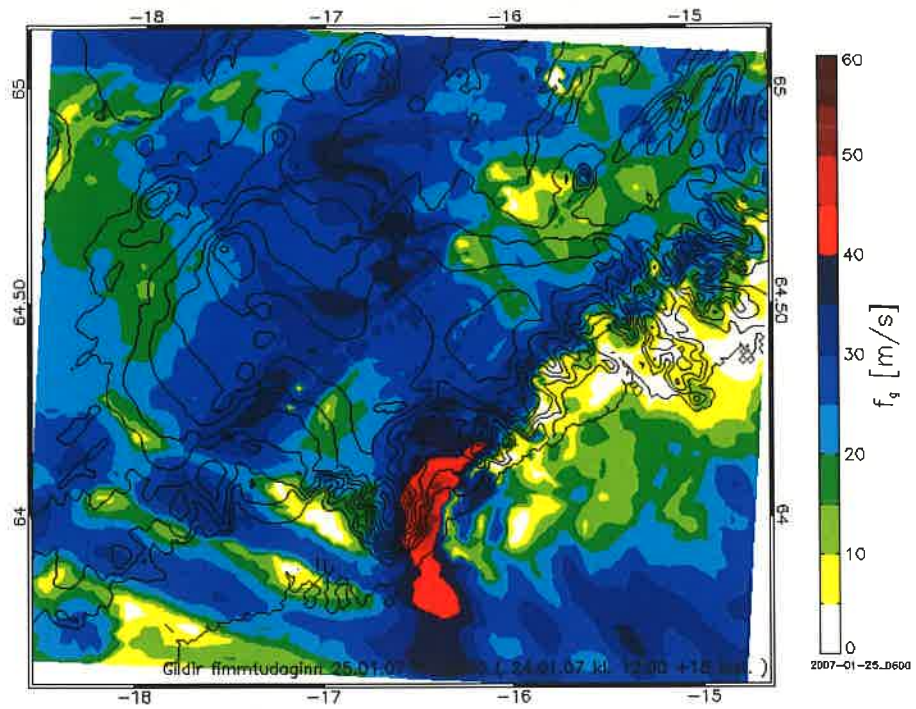


21. mynd: Meðalhiti [$^{\circ}T$] 850 hPa þegar vindur við Kvísker fer yfir 40 m/s í vestlægum óveðrum (gerð 1) og norðlægum óveðrum (gerð 2). Gögnin koma frá NOAA/CDC og eru byggð á greiningu frá NCEP/NCAR.

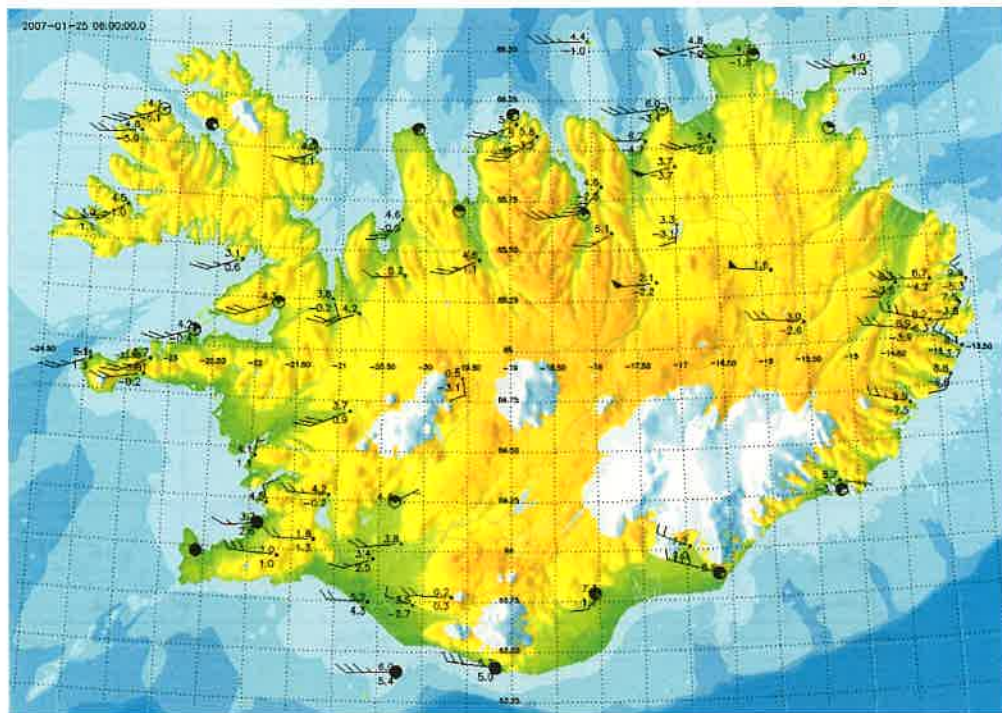
B VIÐAUKI – VESTANÓVEÐRIÐ 25. JANÚAR 2007



22. mynd: Reiknaður vindstyrkur í 9 og 3 km reiknineti, og mældur meðalvindur og vindhviður, við Kvísker.

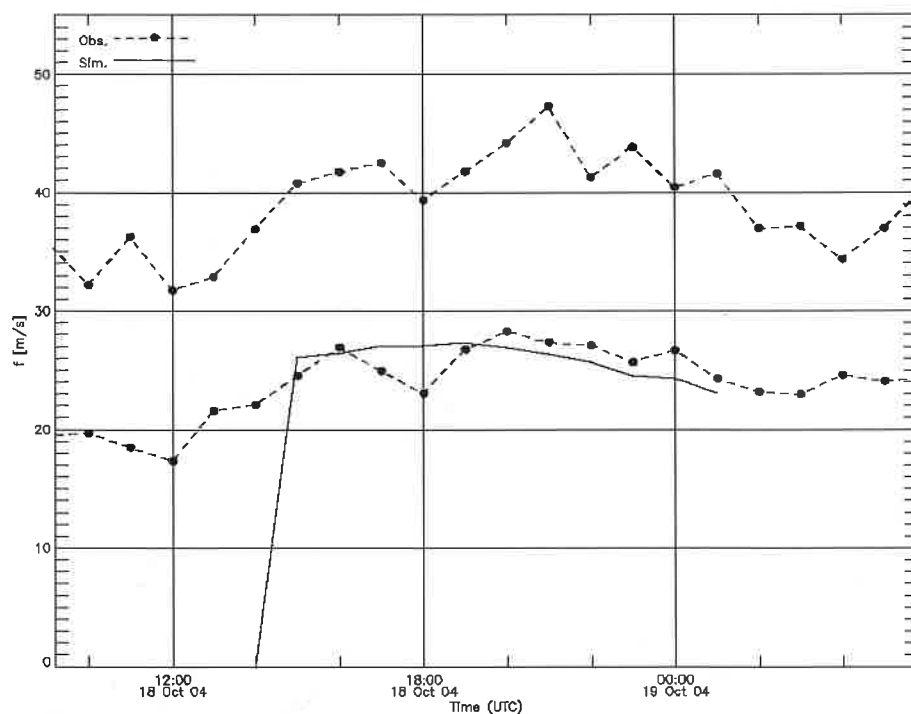
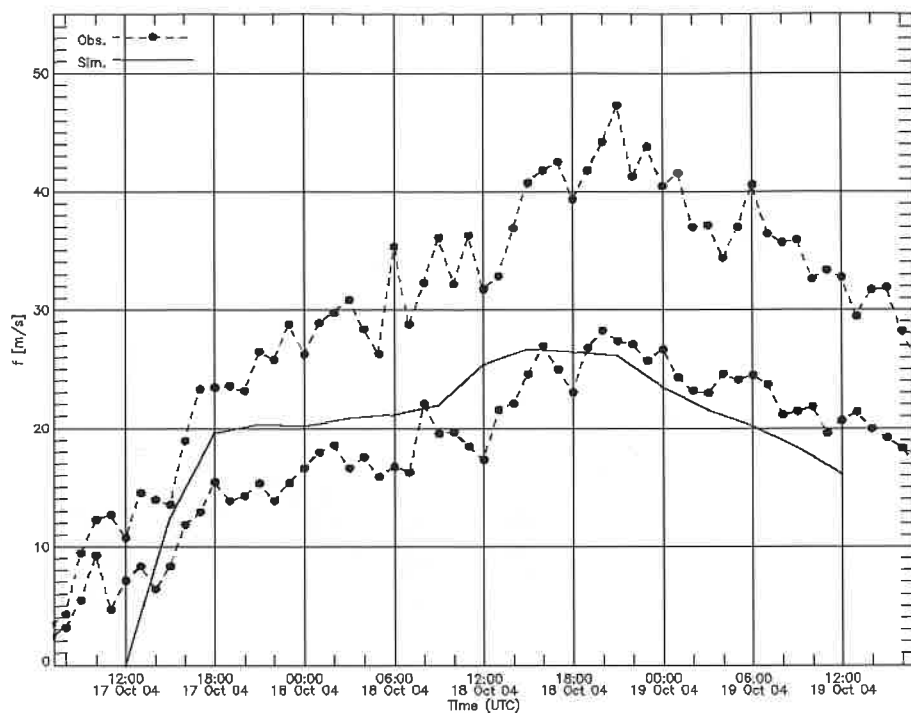


23. mynd: Reiknaður hviðustyrkur í 1 km reiknineti kl. 06:00 25. jan. 2007.

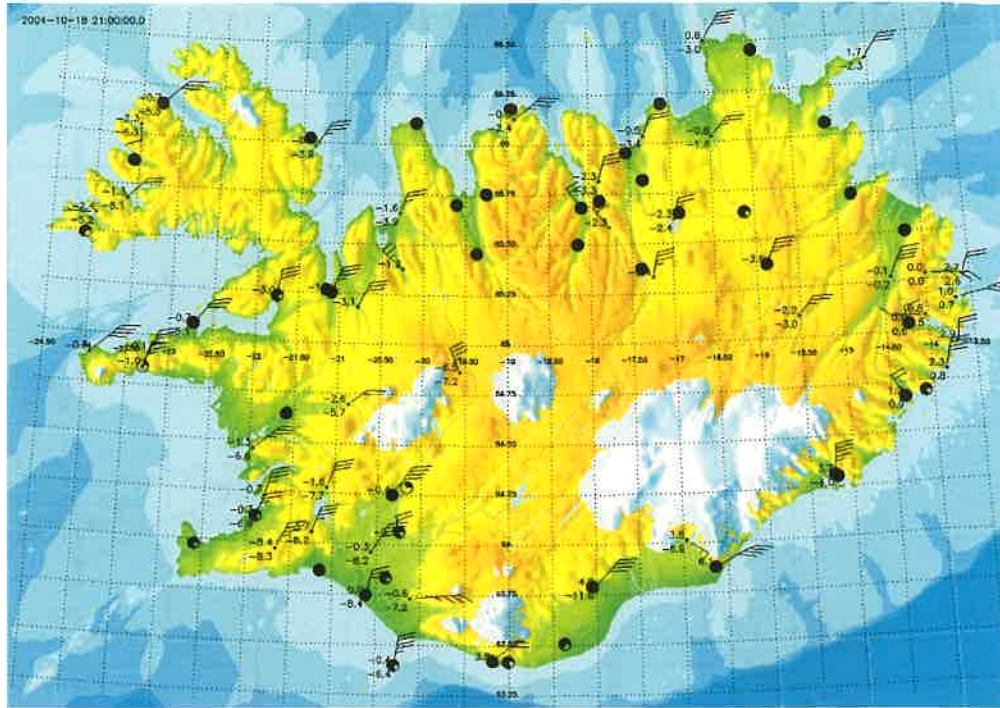


24. mynd: Mælingar á vindi og hita á ýmsum veðurstöðvum kl. 06:00 25. jan. 2007.

C VIÐAUKI – NORÐANÓVEÐRIÐ 18. OKTÓBER 2004

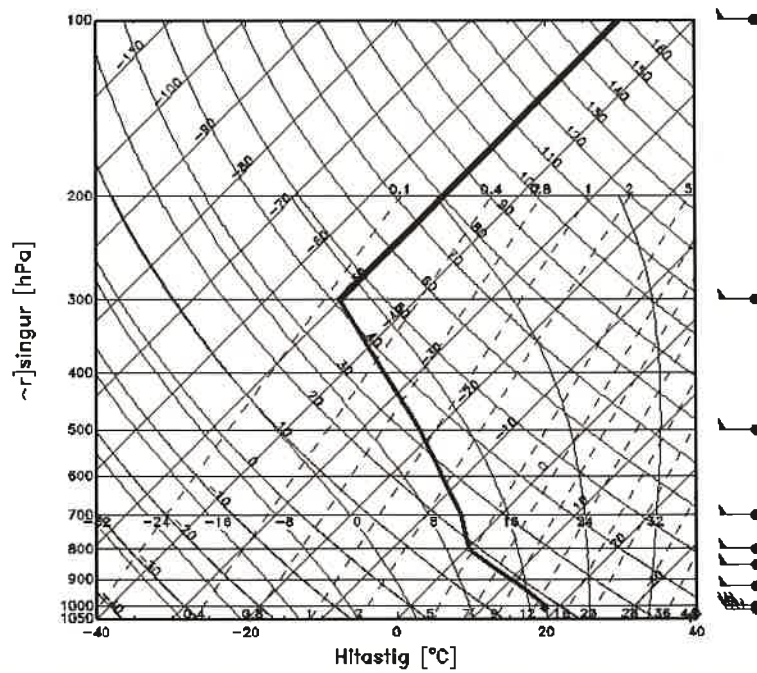


25. mynd: Reiknaður vindstyrkur í 9 og 1 km reiknineti, og mældur meðalvindur og vindhviður, við Kvísker.

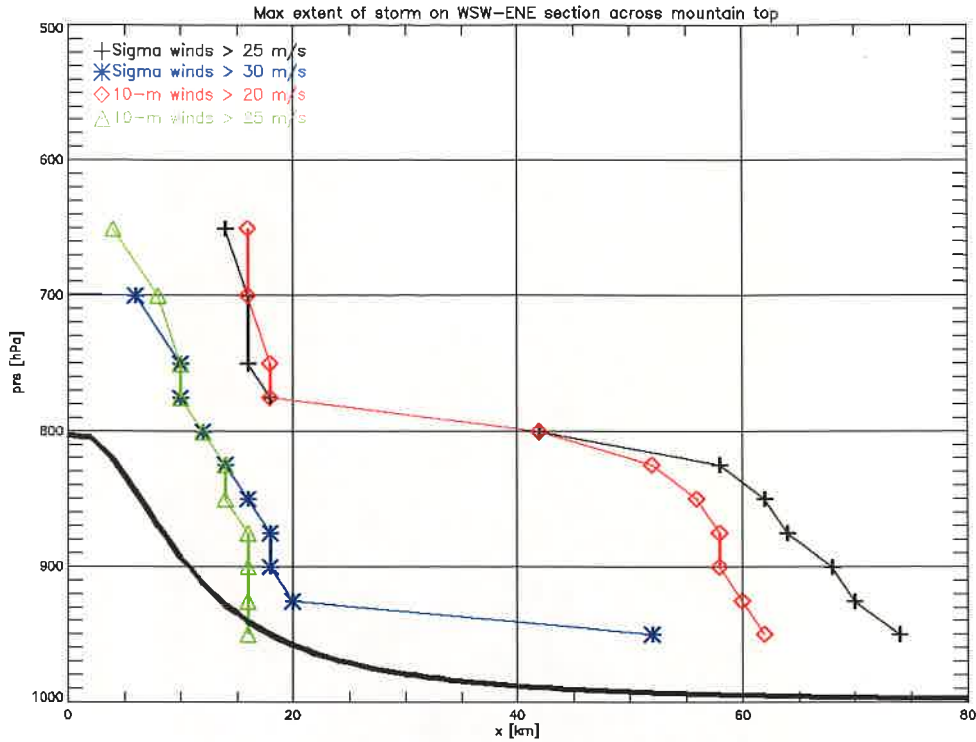


26. mynd: Mælingar á vindi og hita á ýmsum veðurstöðvum kl. 21:00 18. okt. 2004.

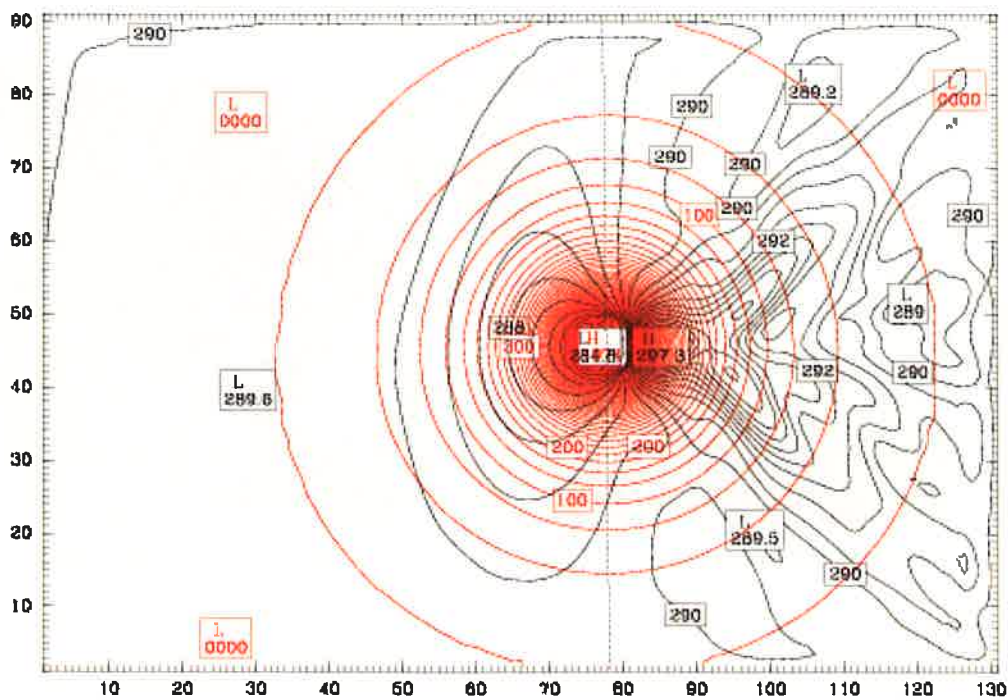
D VIÐAUKI – ÓVEÐUR OG FÁGAÐ LANDSLAG



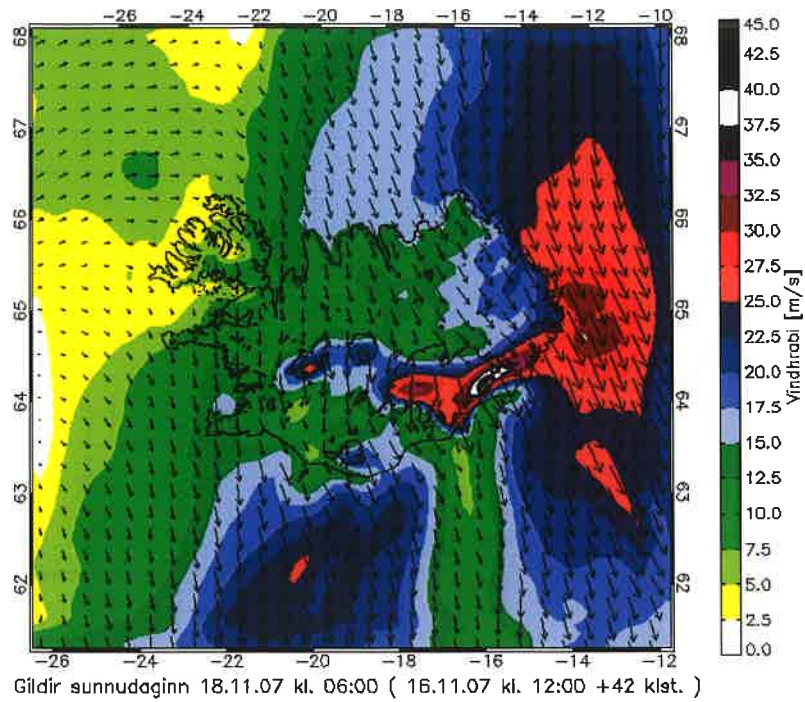
27. mynd: Hitarit sem sýnir hita [°C] og vindstyrk [m/s] í upphafsskilyrðum lofthjúpsreikninga með fágað landslag og topp hlutlausu lagsins í 800 hPa.



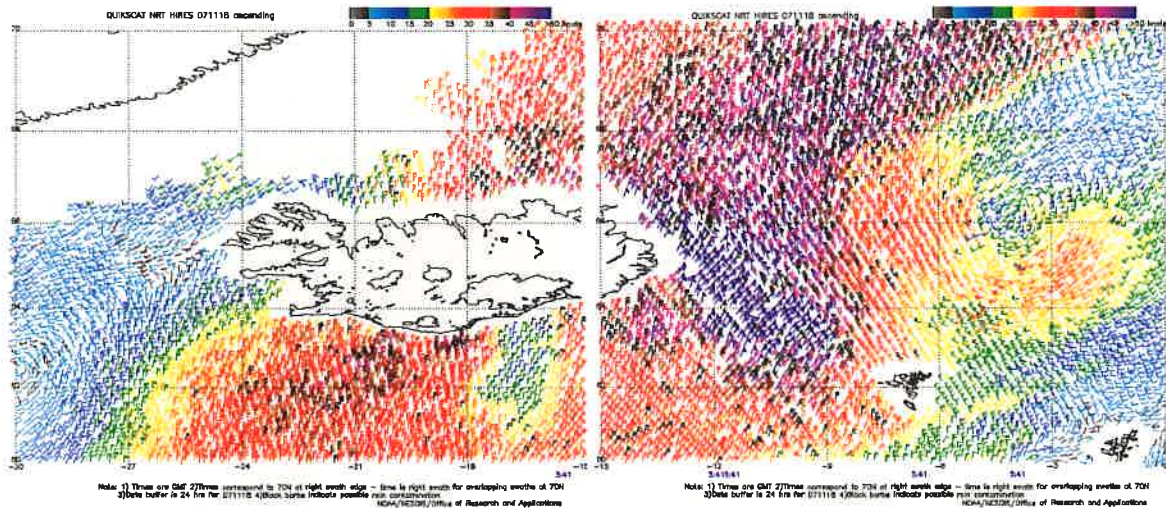
28. mynd: Mesta útbreiðsla óveðurs í sniði í stefnu VSV-ANA yfir fjall (100 m hæðarlínur) m.v. mismandi þykkt hlutlausu lagsins og mismunandi lágmarksvindhraða fyrir 10-m og sigma-3 vind.



E VIÐAUKI – ÁHRIF VATNAJÖKULS Á VEÐUR VIÐ KVÍSKER



30. mynd: *Reiknaður vindur [m/s] yfirborð jarðar kl. 06:00 18. nóv. 2007 í 3 km víðum möskvum í HRAS-spákerfinu (Ólafsson et al. 2006).*



31. mynd: *Vindur [m/s] við sjávarmál kl. 05:41 18. nóv. 2007 samkvæmt Seawinds Scatterometer um borð í QuickSCAT gervitunglinu.*