

Betri veðurspá með tölfraeðilegri háupplausnabruun

Lilja Steinunn Jónsdóttir
Halldór Björnsson
Kristján Jónasson
Bolli Pálmason
Guðrún Nína Petersen

Betri veðurspá með tölfræðilegri háupplausnabréun

Lilja Steinunn Jónsdóttir
Halldór Björnsson
Kristján Jónasson
Bolli Pálmason
Guðrún Nína Petersen

Skýrsla nr. VÍ 2021-007	Dags. September 2021	ISSN 1670-8261	Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/> Skilmálar:
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Betri veðurspá með tölfraðilegri háupplausnabruun			Upplag: Rafræn útgáfa Fjöldi síðna: 34
			Framkvæmdastjóri sviðs: Jórunn Harðardóttir
Höfundar: Lilja Steinunn Jónsdóttir, Halldór Björnsson, Kristján Jónasson, Bolli Pálmason og Guðrún Nína Petersen			Verkefnisstjóri: Halldór Björnsson
			Verknúmer: 3830-0-0002
Gerð skýrslu/verkstig:			Málsnúmer: 2021-0075
Unnið fyrir: Unnið fyrir styrk úr Nýsköpunarsjóði námsmanna			
Samvinnuaðilar: Háskóli Íslands			
Útdráttur: Þó að spár veðurlíkana hafi batnað mikið á undanförunum áratugum þá fylgir öllum spám skekkja. Það getur því munað nokkru á spám og mælingum á veðurstöðvum. Á liðnum áratugum hafa verið þróaðar tölfraðilegar aðferðir til að leiðrétta skekkjuna. Á Veðurstofu Íslands er nú meðal annars notuð aðferð sem nýtir hitaspár og mælingar undanfarinna daga til þess að leiðrétta staðaspár á öllum veðurstöðvum fyrir tvö veðurlíkön (HARMONIE-AROME og ECMWF-HRES). Þó að reynslan af þessari leiðréttingu sé góð er ágalli hennar að einungis er leiðrétt þar sem mæligildi er að fá frá stöðvum. Hér hefur verið þróuð aðferð til að brúa leiðréttingu veðurspáa á öllum veðurstöðvum yfir allt Ísland. Afurðin er aðferð sem beita má í rauntímaveðurþjónustu á sjálfvirkan hátt til þess að leiðrétta veðurspár fyrir hita allsstaðar á landinu. Ekki einungis gefur þetta betri veðurspár heldur er aðferðin einnig nægilega sveigjanleg til þess að geta nýst við leiðréttingar annarra hitakorta sem gerð eru á Veðurstofu Íslands, t.d. korts af mánaðarmeðalhita.			
Lykilorð: Tölfraði, reiknifraði, veðurfræði, veðurspár			Undirskrift framkvæmdastjóra sviðs:
			Undirskrift verkefnisstjóra:
			Yfirfarið af: SG

Efnisyfirlit

1	Inngangur	5
2	Veðurspálíkön	5
2.1	Veðurspálíkön ECMWF	7
2.2	Harmonie veðurspálíkanið	7
3	Bcor leiðréttingarstuðlar	9
4	Gögn	10
5	Forritun háuplausnarbrúunar leiðréttingarstuðla	11
5.1	Marktækar ytri breytur	11
5.2	Brúunaraðferðir	12
5.3	Gæðamat	15
6	Niðurstöður	19
7	Umræður	24
	Heimildaskrá	25
	Viðauki I. Tafla með hæð veðurstöðva	26
	Viðauki II. Frekari myndgreining niðurstaða	33

Myndaskrá

Mynd 1: Veðurathuganir frá jörð og háloftum gefa ásamt gervitunglamælingum upplýsingar um ástand lofthjúpsins fyrir greiningu	6
Mynd 2: Dæmi um veðurspár á forsiðu vefs Veðurstofu Íslands	7
Mynd 3: Hitaspá sem sýnir umfang Harmonie veðurspásvæðisins á Norður Atlantshafi	8
Mynd 4: Hitaspár á mótí raunhitastigi án og með leiðréttingu fyrir spáskref 27, 10, 33 og 26 klst.	10
Mynd 5: Staðsetningar þeirra sjálfvirku veðurstöðva sem gögn voru nýtt frá	11
Mynd 6: Fyrstu myndrænu niðurstöður brúunar bcor stuðla	14
Mynd 7: Meðalmismunur bcor leiðréttingargilda og brúaðra gilda fyrir nóvember 2020.	16
Mynd 8: Meðalmismunur bcor leiðréttingargilda og brúaðra gilda fyrir mars 2021.	16
Mynd 9: Meðalmismunur bcor leiðréttingargilda og brúaðra gilda fyrir apríl 2021	17
Mynd 10: Meðalmismunur bcor leiðréttingargilda og brúaðra gilda fyrir júní 2021	17
Mynd 11: EC-HRES hráspá og leiðrétt spá, greining 7.9.2021 á miðnætti með spátíma 24 klukkustundir	19
Mynd 12: EC-HRES leiðrétt spá, greining 7.9.2021 á miðnætti fyrir spátíma 24 klukkustundir fært á háuplausnarkort.	20

Mynd 13: Harmonie hráspá, leiðrétt spá og brúuð í háupplausn, greining 7.9.2021 á miðnætti með spátíma 24 klukkustundir.	21
Mynd 14: EC-HRES hráspá og leiðrétt spá, greining 7.9.2021 á miðnætti með spátíma 24 klukkustundir myndræn framsetning.....	22
Mynd 15: Harmonie hráspá og leiðrétt spá, greining 7.9.2021 á miðnætti með spátíma 24 klukkustundir, myndræn framsetning.....	23

Töfluskrá:

Tafla 1: Tölfræðileg greining á áhrifum hæðar yfir sjávarmál og fjarlægðar frá sjó á leiðréttingarstuðla	12
Tafla 2: Tölfræðileg greining á áhrifum hitastigs á leiðréttingarstuðla.....	12
Tafla 3: Staðalfrávik leifa (RMSE) á mismuni staðaspáa, leiðréttra staðaspáa ásamt staðaspáa leiðréttra með brúuðum bcor stuðlum og athugana.....	15
Tafla 4: Staðalfrávik leifa (RMSE) á mismuni staðaspáa, leiðréttra staðaspáa með bcor stuðlum ásamt staðaspáa leiðréttra með brúuðum bcor stuðlum og athugana	18

1 Inngangur

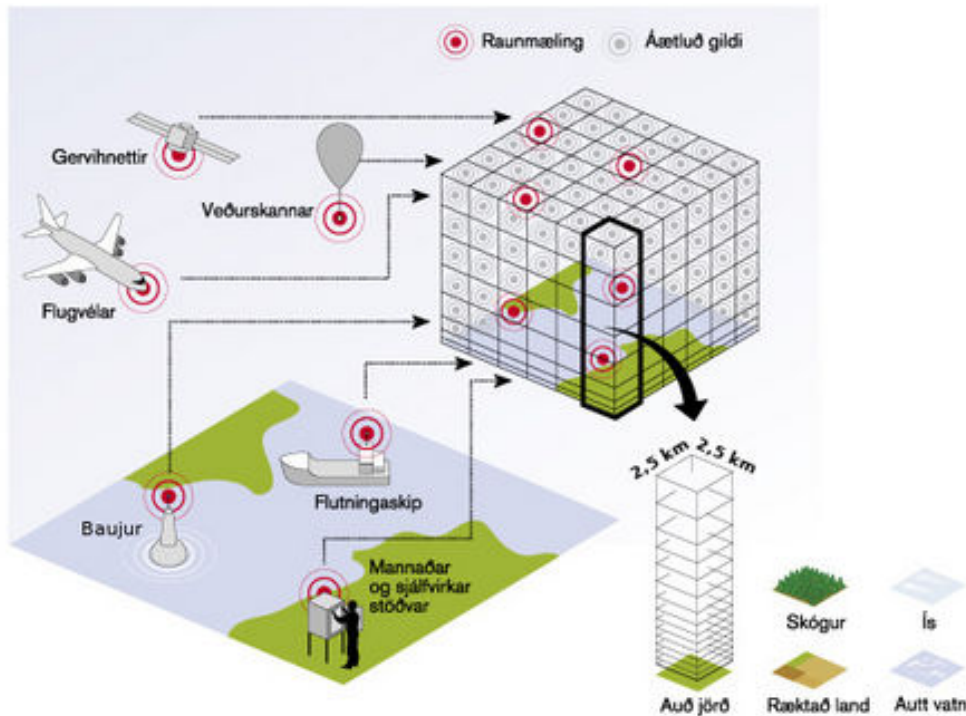
Veðurspár eru mikilvægar í daglegu lífi sem og fyrir almannaheill, því er sífellt kallað eftir betri veðurspám. Veðurspár eru notaðar til að spá fyrir um færð fyrir samgöngur, hvort sem er á landi, í legi eða á lofti. Einnig eru veðurspár nýttar til þess að spá fyrir um náttúruhamfarir svo sem óveður, flóð, snjóflóð og skriður. Hvers kyns viðvaranir um slæm veður, storma, úrhelli og snjókomu verða því áreiðanlegri eftir því sem veðurspár eru nákvæmari og víðtækari. Síðast en ekki síst nýtast veðurspár í daglegu lífi, bæði í vinnu og frítíma, þar sem veðurþröskuldar geta verið s.s. vindhraði eða lofthiti yfir/undir ákveðnu marki sem og hvort von er á úrkomu.

Veðurspálíkön herma eftir veðri. Til þess að reikna veðurspá þarf að framkvæma flókna stærðfræðilega reikninga þar sem tekið er tillit til margra ólíkra þátta sem hafa áhrif á þróun veðurs. Í lofthjúpunum þarf að taka tillit til hita, loftþrýstings, vinda, vatnsgufu, skýja og úrkomu auk víxlverkana við yfirborð hafs og lands (Veðurstofa Íslands, 2015). Þó veðurlíkön hafi tekið miklum framförum á undanförmum áratugum þá fylgir öllum spám skekkja og því getur munað nokkru á spám og mælingum á veðurstöðvum. Sumar þessarar skekkja eru kerfisbundnar og á liðnum áratugum hafa verið þróaðar tölfraðilegar aðferðir til að leiðrétta slíkar skekkjur. Á Veðurstofu Íslands er nú m.a. notuð aðferð sem notar spár og mælingar undanfarinna daga til að leiðrétta hitaspár á öllum veðurstöðvum frá tveimur veðurlíkönnum (HARMONIE-AROME og ECMWF-HRES). Þó reynslan af þessari leiðréttingu sé góð er augljós ágalli hennar að einungis er hægt að leiðrétta veðurspár þar sem mæligildi frá veðurstöðvum er að fá. Hér hefur verið þróuð aðferð til að brúa leiðréttingu á hitastigi veðurstöðva yfir á háupplausnarkort og með því útbúa veðurspá sem hefur verið tölfraðilega leiðrétt fyrir allt landið.

Verkefnið „Betri veðurspá með tölfraðilegri háupplausnabruun“ var fjármagnað af Nýsköpunarsjóði námsmanna og Veðurstofu Íslands. Verkefnið var unnið á Veðurstofu Íslands í samstarfi við Háskóla Íslands. Verkefnið vann Lilja Steinunn Jónsdóttir, jarðeðlisfræðingur og meistara-prófsnemi. Leiðbeinendur voru Halldór Björnsson verkefnisstjóri á Veðurstofu Íslands og Kristján Jónasson prófessor við Verkfræði- og náttúruvísindasvið Háskóla Íslands, ásamt Guðrúnu Nínu Petersen og Bolla Pálmasyri sérfræðingum við Veðurstofu Íslands.

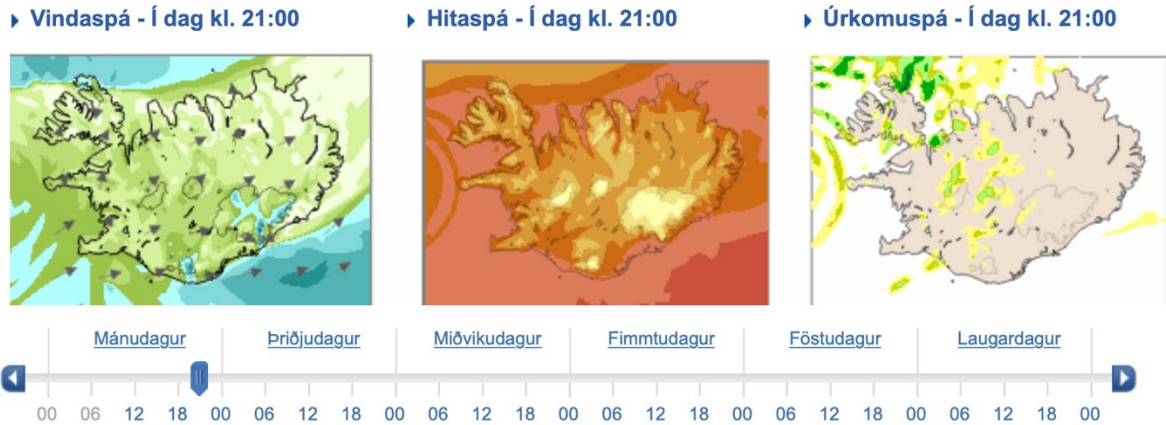
2 Veðurspálíkön

Veðurspálíkön meta á grundvelli flókinna reikninga hvernig veður megi þróast á næstu klukkustundum eða dögum. Til þess þarf að taka tillit til margra þátta sem allir hafa áhrif á þróun veðurs. Í lofthjúpunum þarf að taka tillit til hita, loftþrýstings, vinda, vatnsgufu, skýja og úrkomu auk víxlverkana við yfirborð hafs og lands (Veðurstofa Íslands, 2015). Til að keyra líkan þarf upphafsgildi sem lýsa ástandi lofthjúpsins. Þessi upphafsgildi eru í daglegu tali kölluð greining og fást frá veðurathugunum á jörðu á mönnum og sjálfvirkum veðurathugunarstöðvum, baujum og flutningaskipum sem og veðurathugunum í háloftum frá veðurskönnum, flugvélum og gervihnöttum (sjá mynd 1). Til að ná sem bestum niðurstöðum er líkan notað til þess að fella hina eðlisfræðilegu þætti að mælingum, þó þannig að það stangist ekki á við jöfnur líkansins (Sigurður Þorsteinsson ofl., 2020).



Mynd 1: Veðurathuganir frá jörð og háloftum gefa ásamt gervitunglamælingum upplýsingar um ástand lofthjúpsins fyrir greiningu. Mynd fengin frá Dagens Nyheter, Svíþjóð og íslenskuð af Veðurstofu Íslands (Sigurður Þorsteinsson ofl., 2020).

Á vef Veðurstofu Íslands er að finna fjölda veðurspáa í kortaformi. Þar má nú finna þrjú kortasöfn á forsíðunni, eitt fyrir hvern þriggja veðurþátta: vind, hita og úrkomu (sjá mynd 2). Kortin eru unnin úr annars vegar veðurlíkani Veðurstofunnar, nefnt Harmonie sem er í grunninn veðurlíkanið HARMONIE-AROME, keyrt fyrir Ísland og með ýmsum stillingum sem henta íslensku veðurfari. Hins vegar úr nokkuð grófara líkani Reiknimiðstöðvar evrópskra veðurstofa (ECMWF), nefnt EC-HRES. Efst á hverju korti er að finna upplýsingar um hvað kortin sýna og spá hvaða líkans það sýnir, ásamt tilsvareandi greiningartíma og spátíma. Greiningartíminn er sá tími þegar útreikningar hófust fyrir gildandi veðurspá en spátíminn er tímaskrefið í klukkustundum frá greiningartímanum. Veðurspárútreikningar eru flóknir og þrátt fyrir öflugar tölvur tekur nokkra stund að ljúka greiningu og reikna spár ásamt því að útbúa sjálf kortin. Fyrsti gildistíminn sem er sýndur er því nokkrum klukkustundum eftir greiningartímann, eða um það leyti sem spáin er tilbúin til birtingar. Tíminn sem líður frá greiningartíma þar til spáin birtist á vefnum er breytilegur eftir líkani og ástandi tölvukerfa (Garðar Þór Magnússon, 2013). Miða má við að Harmonie spár birtist á vefnum um 2,5–4 klst eftir greiningartíma en spár frá EC-HRES um 7 klst eftir greiningartíma.



Mynd 2: Dæmi um veðurspár á forsíðu vefs Veðurstofu Íslands.

2.1 Veðurspálíkön ECMWF

Ísland varð fullgildur aðili að Reiknimiðstöð evrópskra veðurstofa (ECMWF) árið 2011 eftir að hafa verið með aukaaðild frá því seint á 8. áratug síðustu aldar. Reiknimiðstöðin reiknar veðurspár 3 til 10 daga fram í tímann, en slíkar spár eru sagðar meðaldrægar (e. medium range) ásamt því að sinna meðal annars hnattrænum spám um veður næstu daga, næstu vikna og mánaða, og spám um þróun sjávarhita í Kyrrahafinu (El Nino spár). Áreiðanleiki ECMWF í hnattrænum veðurspám gerir það að verkum að hún er eftirsóttur samstarfsaðili meðal alþjóðastofnana, s.s. Alþjóðaveðurfræðistofnunarinnar (WMO), evrópskra stofnana á sviði veðurtungla (ESA og EUMETSAT) auk stofnana sem sinna eftirliti með loftmengun, kjarnorkuvá og þróunarhjálp (Veðurstofa Íslands, 2011).

Veðurstofur flestra aðildarþjóða nota spár ECMWF í rekstri sínum, gjarnan með því að nota reiknimiðstöður líkana ECMWF sem innlagsgögn, upphafsgildi og jaðargildi, fyrir veðurspálíkön með þéttu reiknineti. Á Íslandi eru reiknimiðstöður EC-HRES líkans ECMWF notaðar á þennan hátt og einnig eru þær notaðar víða í spákerfum Veðurstofunnar. Spár ECMWF liggja t.d. til grundvallar fyrir veðurspár á Atlantshafi, fyrir flugþjónustu allt að norðurpólnum og margar textaspár sem Veðurstofan gefur út (Veðurstofa Íslands, 2011).

EC-HRES líkanið sem reiknar meðaldræga veðurspá er keyrt hnattrænt tvisvar á sólarhring í 9 km neti. Kortin eru með 3 klst tímaskrefi fyrir spátíma 75-144 og 6 klst tímaskrefi eftir það. Á vefsíðu Veðurstofu Íslands taka veðurkort EC-HRES veðurlíkansins við af kortum Harmonie háupplausnarlíkansins eftir 66. spátímann (66. klst) og ná 6 daga fram í tímann, en EC-HRES-spáin er reyndar reiknuð 10 daga fram í tímann. Grófara reikninet EC-HRES líkansins veldur meiri ónákvæmni í útreikningum, m.a. vegna þess að landslagið smyrst út. Einnig er þekkt að líkanið nær ekki að herma vel hvassviðri á Íslandi.

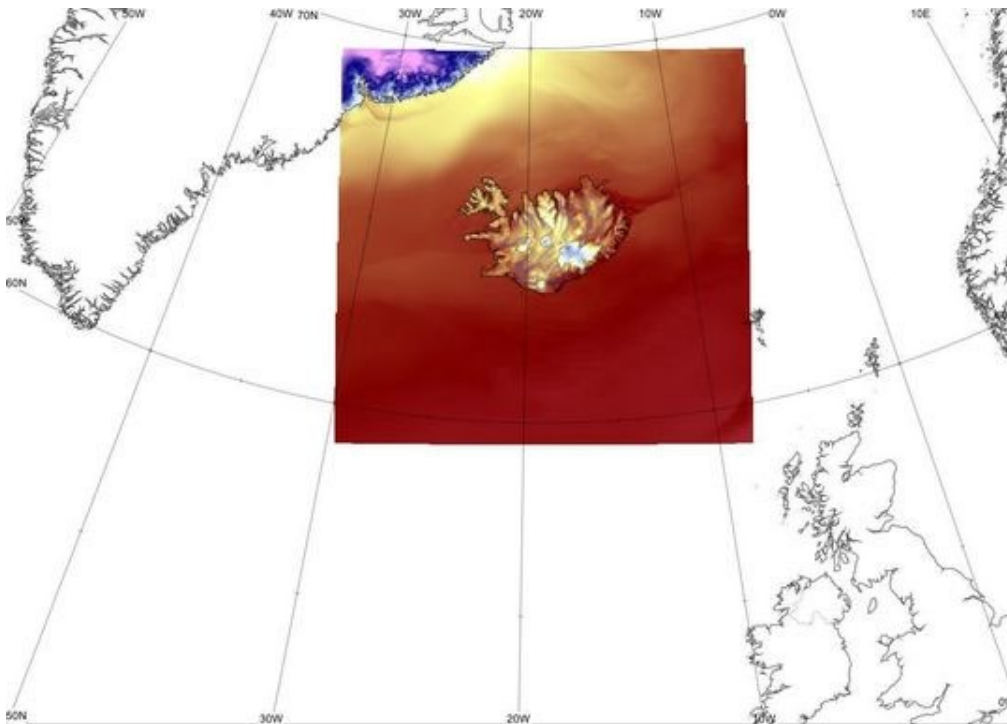
2.2 Harmonie veðurspálíkanið

Haustið 2011 byrjaði Veðurstofa Íslands að reikna veðurspár með háupplausnarlíkaninu HARMONIE-AROME sem skilar af sér Harmonie veðurspám. Með háupplausnarlíkani er átt við líkan sem reiknar veðurspá í þéttu reiknineti. HARMONIE-AROME líkanið er þróað fyrir reikninet með möskvastærð frá tæplega einum kílómetra upp í nokkra kílómetra. Á Veðurstofu Íslands reiknar líkanið veðurspár fyrir Ísland og hafsvæðin umhverfis í neti með 2,5 km

möskvastærð og tímaskrefinu 1 klukkustund, sjá mynd 3. Jaðargögnin koma úr spá ECMWF sem er sú spákeysrsla sem er að jafnaði sú nákvæmasta sem völ er á. Harmonie les inn veðurmælingar á hita og raka í 2ja metra hæð frá Íslandi auk margvíslegra annarra veðurtengdra gagna sem notuð eru til þess að gera greiningu í hárrí upplausn bæði í tíma og rúmi (Veðurstofa Íslands, 2015).

Með 2,5 km upplausn er hægt að reikna beint ýmis ferli sem hafa áhrif á þróun skýja og úrkomu. Ólíkt grófari líkönnum getur HARMONIE-AROME reiknað beint lóðréttu hröðun loftins en þannig fæst nákvæmari mynd af uppstreymi og lóðréttum vindum sem gerir líkaninu kleift að herma eftir stærri skúraskýjum (klökkum) og úrkomu sem þeim fylgir. Þá hermir líkanið betur eftir ýmsum veðurfyrirbærum þar sem gætir upp- eða niðurstreymis loftis, svo sem þegar kröpp skil ganga yfir, bylgjur sem myndast nærri fjöllum og ýmiss önnur áhrif tengd samspili veðrakerfa og landslags (Veðurstofa Íslands, 2015).

Núverandi uppsetning HARMONIE-AROME skilar Harmonie veðurspám. Það er með 500x480 reiknipunkta í 2,5 km láréttri upplausn. Reiknifletir eru í 65 lögum upp frá yfirborðinu upp í 10 hPa (~30 km hæð) og neðsti reikniflötur í um 12 metra hæð yfir yfirborði. Reiknað er fjórum sinnum á sólarhring, 0-66 klst. fram í tímann og tímaskref líkanareikningsins er 60 sekúndur, en niðurstöður eru teknar út á klukkustundarfresti (Veðurstofa Íslands, 2015).



Mynd 3: Hitaspá sem sýnir umfang Harmonie veðurspásvæðisins á Norður Atlantshafi (Veðurstofa Íslands, 2015).

Spár frá Harmonie hafa aukið nákvæmni veðurspáa fyrir allar árstíðir. Allra mikilvægast er að líkanið hefur sýnt sig að vera fært um að lýsa gerð illviðra síðustu ára í smáatriðum á hverju þróunarstigi. Spárnar hafa verið grundvöllur fyrir þeim nákvæmu veðurviðvörðunum sem Veðurstofan hefur gefið út. Með því að nota þetta þétt net reiknipunkta, reikna beint ýmsa eðlisfræðilega ferla, og nota nýjustu og nákvæmstu landgerðar- og gervitunglaupplýsingar til að fá góð upphafsgildi eykst geta líkananna til að spá fyrir um veður umtalsvert (Sigurður Þorsteinsson ofl., 2020).

3 Bcor leiðréttingarstuðlar

Öllum veðurspám fylgir skekkja og því getur munað nokkru á spám og mælingum á veðurstöðvum. Kerfisbundnar skekkjur veðurspálíkana á hitastigi í 2ja metra hæð geta orsakast af ólíkum þáttum. Reikninet líkansins getur verið of gisið svo það sér ekki fjöll og dali nægilega vel, þannig getur Akureyri sem er við sjávarmál virst vera í nokkur hundruð metra hæð í líkaninu. Veðurspálíkanið getur innihaldið röng jaðargögn, til að mynda geta vötn og jöklar verið staðsett á röngum stöðum, hlutfall gróðurs getur verið rangt, endurkast rangt, hæðarlíkan rangt o.s.frv. Einnig geta verið villur í eðlisfræði líkansins, til dæmis geta reynst villur vegna kalds stöðugs jaðarlags, inn-/útgeislun, kvikumyndunar (blöndunar) við yfirborð og svo má áfram telja (Bolli Pálmason, 2016; Guðrún Nína Petersen, 2010).

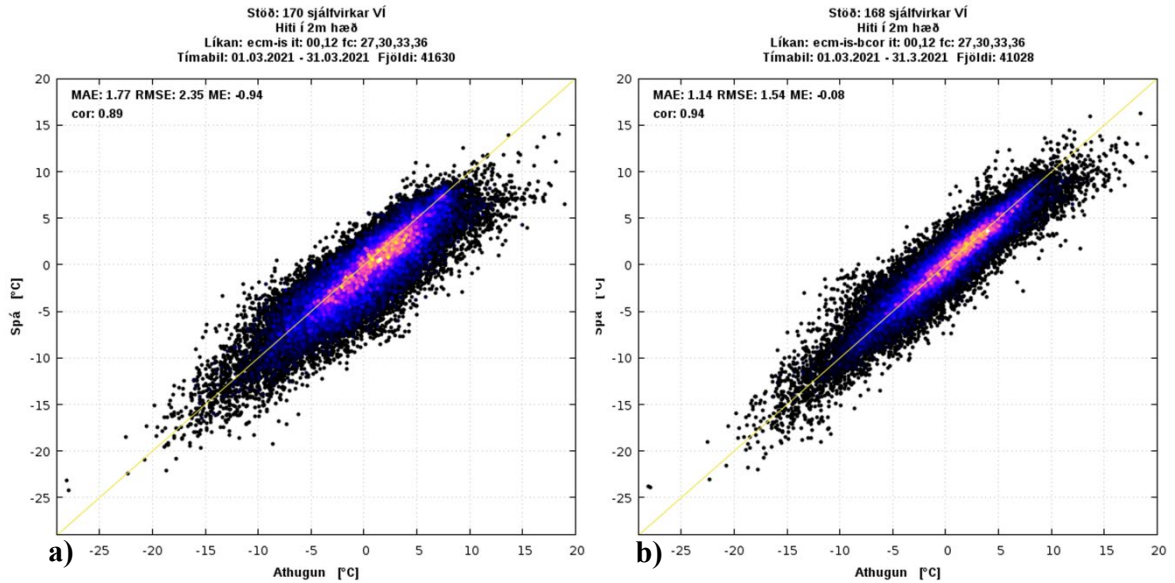
Á liðnum áratugum hafa verið þróaðar tölfræðilegar aðferðir til að leiðrétta slíkar kerfisbundnar skekkjur. Á Veðurstofu Íslands er nú notuð einföld tölfræðileg aðferð vegna skekkju í spám á hitastigi í 2ja metra hæð sem notar spár og mælingar undanfarinna daga til að leiðrétta spár á öllum veðurstöðvum fyrir tvær ólíkar veðurspár (Harmonie og EC-HRES). Leiðréttingarstuðullinn er kallaður bcor stuðull (e. bias correction). Leiðréttingarstuðullinn er reiknaður fyrir hverja veðurstöð, hvert spáskref og hverja klukkustund sólarhrings og uppfærður eftir hverja athugun. Aðferðin er byggð á grein P. Boi sem lýst er í *A statistical method for forecasting extreme daily temperature using ECMWF 2-m temperatures and ground station measurements* frá 2004. Boi notar jafnt vægi á nýjum mismun og eldri stuðli, en í aðferðinni sem er notuð á veðurstofunni er eldri stuðull vigtaður hærra. Jafna 1 sýnir hvernig leiðrétt hitastig, T_{bcor} , fæst því með að taka beint hitastig úr líkaninu (e. direct model output), T_{dmo} , og bæta við nýjasta leiðréttingarstuðlinum, cor . Leiðréttingarstuðullinn, cor_i , er reiknaður með því að gefa mismun hitastigsathugunar og hitastigsspár 10% vægi og síðasta leiðréttingarstuðli fyrir gefna klukkustund sólarhrings og spáskref 90% vægi, sjá jöfnu 2, gefið er að fyrsti stuðull, cor_0 , sé núll (Bolli Pálmason, 2016).

$$T_{bcor} = T_{dmo} + cor \quad (1)$$

$$cor_i = 0,1(T_{obs} - T_{fct}) + 0,9cor_{i-1} \quad (2)$$

$$cor_0 = 0 \quad (3)$$

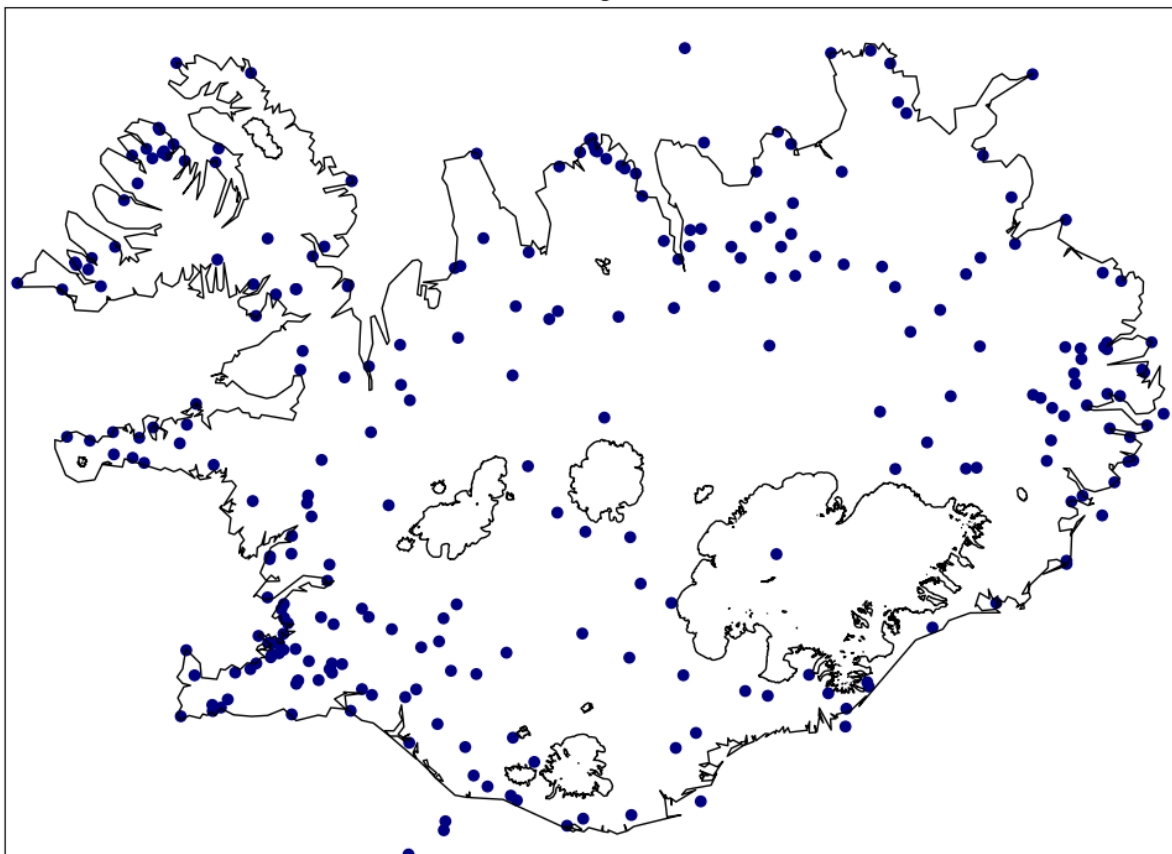
Af mynd 4, til vinstri, má sjá skotrit af hitastig spálíkans EC-HRES á móti hitastigi við athugun fyrir mars 2021. Sjá má töluverða kerfislæga skekkju, með staðalskekkju upp á $2,35^\circ\text{C}$ og meðalfrávik upp á $-0,94^\circ\text{C}$. Á mynd 4 til hægri, sjást sömu gildi eftir að hitastigsspá EC-HRES hefur verið leiðrétt, það er með T_{bcor} í stað T_{dmo} , þó eingöngu fyrir aðeins færri veðurstöðvar þar sem ekki hefur tekist að uppfæra bcor fyrir allar stöðvar fyrir tímabilið. Greinilegt er að spáin er mun nær athugunum eftir leiðréttingu heldur en fyrir, með staðalskekkju upp á $1,54^\circ\text{C}$ og meðalfrávik upp á $-0,08^\circ\text{C}$. Leiðréttingarstuðlunum er nú þegar beitt sjálfkrafa á staðarspár veðurstofunnar, sem birtast því leiðréttar á vef Veðurstofu Íslands. Reynslan af þessari leiðréttingu er góð en augljós ágalli hennar er að einungis er hægt að leiðrétta spár þar sem mæligildi fást frá veðurstöðvum.



Mynd 4: Hitaspár á móti raunhitastigi án og með leiðréttingu fyrir spáskref 27, 10, 33 og 26 klst. (a) Hitastig spár á móti hitastigi athugunar fyrir sjálfvirkar veðurathugunarstöðvar fyrir mars 2021. (b) Hitastig spár móti hitastigi athugunar eftir að spáin hefur verið lagfærð með bcor leiðréttingarstuðlum einnig fyrir mars 2021. Ólíkur fjöldi stöðva skýrist af því að stundum berast ekki mæligögn frá öllum stöðvum til útreikninga á bcor.

4 Gögn

Gögnin sem unnið var með í verkefninu eru spár Harmonie og EC-HRES fyrir hitastig í 2ja metra hæð. Gögnin eru geymd á GRIB skráarsniði sem er sérstaklega hannað til þess að geyma og dreifa veðurgögnum. GRIB stendur fyrir „General Regularly Distributed Information in Binary form“ og er staðlað snið WMO (World Meteorological Organization) til þess að geyma og skiptast á gögnum. Einnig var unnið með bcor leiðréttingarstuðla, hitastigsspár og athuganir fyrir sjálfvirkar veðurathugunarstöðvar Veðurstofu Íslands og Vegagerðarinnar víðsvegar um landið, allt að 267 stöðvar, sjá mynd 5. Gögn þessi eru geymd í venslagagnagrunni Veðurstofu Íslands og sótt þangað eftir þörfum. Á mynd 5 má sjá staðsetningu sjálfvirku veðurstöðvanna.



Mynd 5: Staðsetningar þeirra sjálfvirkur veðurstöðva sem gögn voru nýtt frá.

Bor leiðréttingarstuðlar eru eins og fyrr segir reiknaðir fyrir hitastig í 2ja metra hæð þar sem bæði er til staðar mæling og spágildi, fyrir veðurathugunarstöðvarnar. Það eru því ekki til bor leiðréttingargildi í hverjum reiknipunkti spálíkananna, og því hefur eingöngu verið hægt að gefa út leiðréttu staðarspár en ekki hitaveðurþáttakort. Til þess að leiðréttu hitastig í veðurþáttaspá fyrir allt landið eru bor stuðlar frá veðurstöðvum brúaðir yfir á reikninet veðurlíkansins.

Tvívið brúun frá mælipunktum yfir á net er algengt verkefni og hafa verið þróaðar margar aðferðir sem hafa ólíka styrkleika og veikleika. Útgáfur af algengum aðferðum svo sem Akima brúun (H. Akima, 1996) og Kriging brúun (Kitanitis, 1997) hefur verið beitt á ýmsar tegundir gagna, m.a. veðurgögn.

5.1 Marktækar ytri breytur

Í þessu verkefni var fyrst litið á hvaða ytri gögn hefðu áhrif á leiðréttingarstuðlana fyrir Harmonie veðurspár. Skoðað var hvort hæð yfir sjó, fjarlægð frá strandlínu og hitastig hefði áhrif. Niðurstaðan var að hvorki fjarlægð frá sjó né hæð yfir sjó hefði marktæk áhrif óháð árstíma, sjá töflu 1.

Sjá má að meðalstuðullinn er mjög lágur í öllum tilvikum, undir 0,01. P-gildi gefa til kynna hvort samband breytanna sé tölfræðilega marktækt ef p-gildi eru undir 0,05. Af töflu 1 má lesa að p-

gildin eru yfir 0,05 yfir hæð yfir sjávarmáli fyrir nóvember 2020, apríl og júní 2021, en innan markanna fyrir janúar og mars 2021. Fyrir fjarlægð frá sjó eru p-gildin yfir 0,05 fyrir nóvember 2020, janúar, apríl og júní 2021. En undir mörkunum fyrir mars 2021.

Tafla 1: Tölfræðileg greining á áhrifum hæðar yfir sjávarmál og fjarlægðar frá sjó á leiðréttingarstuðla. Fyrir hvern mánuð eru leiðréttingarstuðlar á miðnætti 15. dags hvers mánaðar teknir fyrir öll gild spáskref Harmonie, það er stuðlar með tímaskref 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60 og 66 klst frá greiningartíma spálikansins. Meðalstuðlar og p-gildi eru fengin með Python pakknum statsmodels. Meðalstuðlarnir eru lágir fyrir alla mánuði og p-gildi oftast yfir 0,05.

Mánuður	Meðalstuðull m.t.t. hæðar	Meðal p-gildi m.t.t. hæðar	Meðalstuðull m.t.t. fjarlægðar frá sjó	Meðal p-gildi m.t.t. fjarlægðar frá sjó
Nóvember '20	-0,0004	0,05	0,0016	0,53
Janúar '21	0,006	0,01	0,0051	0,11
Mars '21	0,0007	0,04	0,0090	0,02
Apríl '21	0,0002	0,37	0,0036	0,22
Júní '21	0,000004	0,73	-0,0012	0,65

Líklegt er talið að snjóhula hafi áhrif á bcor leiðréttingarstuðlana. Hitastig, hvort sem er athugun eða spá, gefur vísbendingar um hvort snjóhula sé líkleg eður ei. Við athugun kom í ljós að með því að skoða samband bcor stuðla og hitastigs mátti sjá marktækt samband, sjá töflu 2. Meðalstuðullinn er stærðargráðu hærrí en stuðlar fyrir fjarlægð frá sjó eða hæð yfir sjávarmáli. Einnig eru p-gildin undir 0,05, sem gefur til kynna að milli bcor stuðla og hitastigs sé tölfræðilega marktækt samband. Skoðað var samband bcor stuðla og hitastigs fyrir fleiri mánuði en fram koma í töflu 2, niðurstöður þeirra athugana voru áþekkar.

Tafla 2: Tölfræðileg greining á áhrifum hitastigs á leiðréttingarstuðla. Leiðréttingarstuðlar og hitastig fyrir miðnætti 15. dags mánaðar teknir fyrir öll gild spáskref Harmonie, það er stuðlar með tímaskref 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60 og 66 klst frá greiningartíma spálikansins.

Mánuður	Meðalstuðull m.t.t. hitastigs	Meðal p-gildi m.t.t. hitastigs
Janúar '21	-0,083	0,03
Mars '21	-0,119	0,000085

Ákveðið var að taka tillit til hitastigs með því að nýta hitastig klukkan 6 að morgni til fyrir Harmonie og klukkan 12 á hádegi fyrir EC-HRES veðurspár. Nýttar eru athuganir eða spár eftir þörfum.

5.2 Brúunaraðferðir

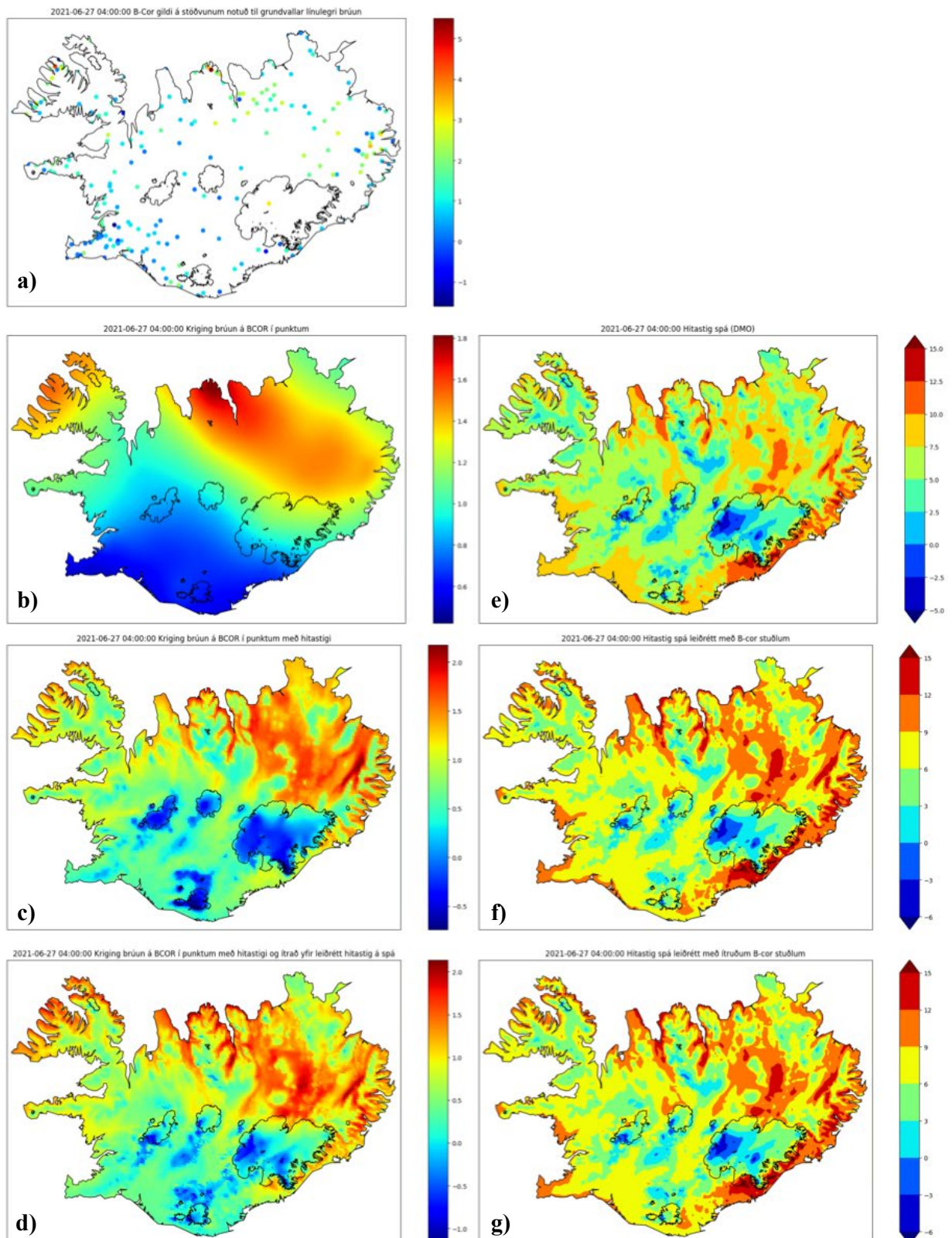
Eins og áður segir eru til margar aðferðir til þess að brúa gögn mælipunkta línulega yfir á net. Í Python forritunarumhverfinu er SciPy einna fremst í flokki fyrir flesta brúun gagna. PyKrige er

þó best í Kriging brúun. Kriging brúun hefur þann kost fram yfir aðrar brúunaraðferðir að hægt er að taka tillit til utanaðkomandi gagna við brúunina án þess að fara þurfi í flókna forritun.

Við brúun bcor leiðréttingarstuðlanna var því ákveðið að nýta Kriging Universal brúun með ytra reki. Tekið er tillit til hitastigs kl. 6 að morgni fyrir spátíma í Harmonie, og kl. 12 á hádegi fyrir EC-HRES líkanið ásamt mismunar á raunverulegri hæð veðurstöðvanna og hæðar samsvarandi punkta í neti líkananna. Hæð stöðvanna í neti líkananna var fundin með línulegri brúun með Scipy pakkanum. Í viðauka I má finna töflu yfir hæð allra stöðva ásamt hæð samsvarandi punkta í hvoru líkani fyrir sig.

Við Kriging brúun bcor leiðréttingarstuðlanna á veðurstöðvunum yfir á net líkansins er hæð hvers reiknipunkts settur sem 0 metrar, þar sem reiknipunkturinn liggur á fleti líkansins. Hitastig hvers punkts er fengið úr fyrri greiningu eða spá eftir þörfum. Því næst er brúunin endurreiknuð á ný yfir á reikninetið, með alla reiknipunkta áfram í fleti líkansins en nú með leiðréttum hitastigsgildum fyrir spátímammið við fyrri keyrslu brúunar bcor stuðlanna, sjá mynd 6. Til þess að auka hraðvirkni útreikninga var mikilvægt að fækka reiknipunktum, því reiknar forritið eingöngu leiðréttingarstuðla á neti sem nær yfir Ísland og fyrir Harmonie er netið sem leiðréttingarstuðlarnir eru reiknaðir á 160x240 reiknipunktar í stað 500x480 reiknipunkta upprunalega líkansins. Í tilfalli EC-HRES líkansins eru leiðréttingarstuðlarnir reiknaðir á 40x120 reiknipunktum í stað 111x401 reiknipunktum í upprunalega líkaninu. Leiðrétt spá fæst síðan með því að leggja niðurstöðu línulegrar brúunar leiðréttingarstuðlanna við spá líkans fyrir svæðið í kringum Ísland. Þessari spá skilar forritið á GRIB skráarsniði.

Ennfremur getur forritið reiknað leiðréttu spána yfir á fastan hæðarflöt, það er niður að sjávarmáli með því að nýta almenna jöfnu um hitafallanda, þ.e. lækun um 6,5°C fyrir hverja 1000 metra hækkun. Með Python pakkanum Xarray er spáin miðað við sjávarmál færð yfir á þéttara net með línulegri brúun sem byggir á brúun SciPy pakkans. Á þessu þéttara neti eru niðurstöðurnar loks færðar til réttar hæðar. Með þessari aðferð má færa Harmonie spákort með 2,5 km möskvastærð yfir á háupplausnarkort með 750 metra möskvastærð. EC-HRES spákort má færa yfir á net Harmonie spákorts eða alveg yfir á háupplausnarkort.



Mynd 6: Fyrstu myndrænu niðurstöður brúunar bcor stuðla. (a) Bcor stuðlar veðurathugunarstöðva. (b) Brúaðir bcor stuðlar. (c) Brúaðir bcor stuðlar með tilliti til utanaðkomandi hitastigs. (d) Brúaðir bcor stuðlar með tilliti til hitastigs og ítrað yfir leiðrétt hitastig. (e) Harmonie spákort fyrir hitastig í 2ja metra hæð. (f) Harmonie spákort fyrir hitastig í 2ja metra hæð leiðrétt með brúuðum bcor stuðlum með tilliti til hitastigs. (g) Harmonie spákort fyrir hitastig í 2ja metra hæð leiðrétt með ítruðum bcor stuðlum.

5.3 Gæðamat

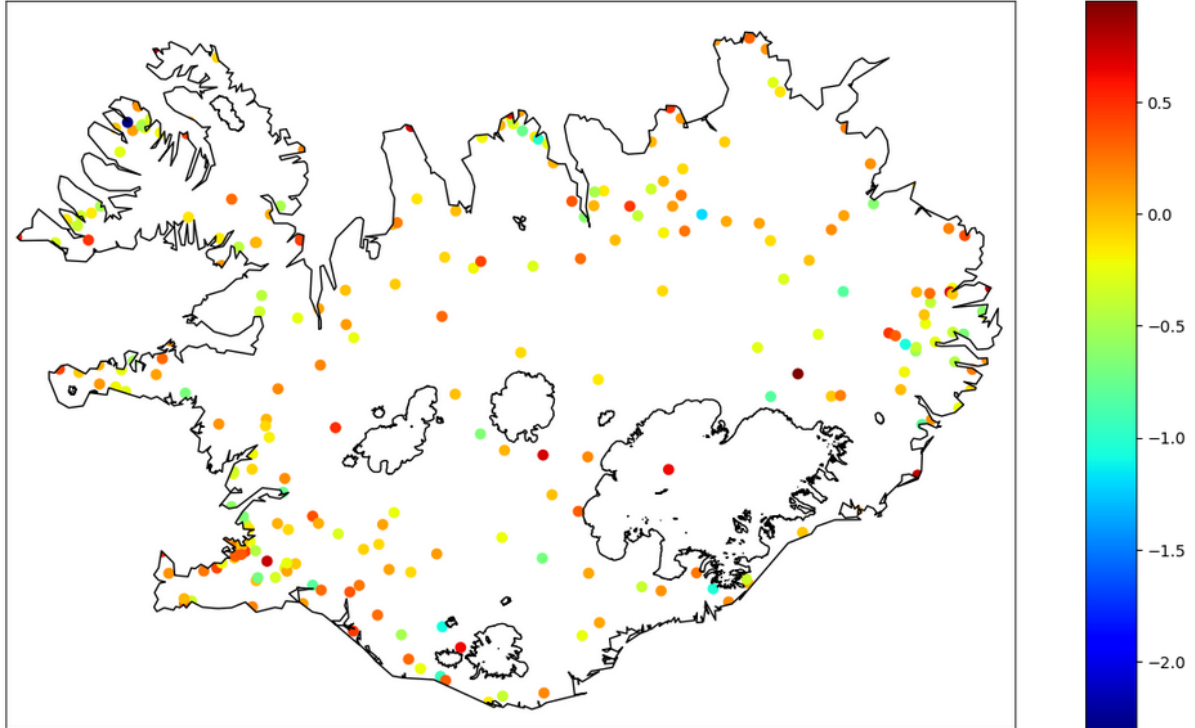
Gæði leiðréttra Harmonie veðurspáa voru metin með því að sleppa skipulega einstökum veðurstöðvum, það er með svokallaðri jackknife aðferð. Þar sem um nærri 270 veðurstöðvar var að ræða var 20. hverri stöð sleppt úr í hverri keyrslu. Keyrt var fyrir heilan mánuð fyrir allar Harmonie veðurspár sem bárust í nóvember 2020, mars, apríl og júní 2021 fyrir spátíma 6, 12, 24 og 48 klst. Fengust brúuð bcor gildi með því að sleppa um 14 stöðvum, brúa gildi hinna bcor leiðréttingarstuðlanna yfir landið og ákvarða gildin í hnitum veðurstöðvanna sem sleppt var. Reiknað var staðalfrávik leifa (e. root mean square error) fyrir mismun á spá og athugun, mismun á staðaspá leiðréttri með bcor stuðlum og athugun, ásamt mismun á staðaspá leiðréttri með brúuðum bcor stuðlum og athugun, sjá töflu 3. Staðalfrávik leifa á mismun staðaspár og athugunar er töluverður eða nærri 2°C. Talsverðu munar um leiðréttingu með bcor stuðlum, og lækkar staðalfrávik leifa þá um það bil um 0,5°C. Með brúuðu bcor gildunum fást staðalfrávik leifa sem eru um 0,05°C frá niðurstöðum með bcor stuðlum.

Tafla 3: Staðalfrávik leifa (RMSE) á mismuni staðaspáa, leiðréttra staðaspáa ásamt staðaspáa leiðréttra með brúuðum bcor stuðlum og athugana.

Mánuður	Spátími (klst)	RMSE: Staðaspá – athugun (°C)	RMSE: Leiðrétt staðaspá með bcor – athugun (°C)	RMSE: Leiðrétt staðaspá með brúuðum bcor – athugun (°C)
Nóvember '20	6	1,8460	1,4643	1,5075
	12	1,9667	1,5398	1,5770
	24	2,0258	1,6230	1,6461
	48	2,2281	1,7539	1,7701
Mars '21	6	1,8969	1,4624	1,4934
	12	2,0098	1,5459	1,5621
	24	2,0529	1,5887	1,5941
	48	2,4498	1,9519	1,9219
Apríl '21	6	1,9264	1,4331	1,5194
	12	1,9878	1,4943	1,5729
	24	1,9103	1,5389	1,5967
	48	2,0319	1,7380	1,7478
Júní '21	6	1,6955	1,3640	1,4720
	12	1,7512	1,3721	1,4744
	24	1,8323	1,4780	1,5566
	48	1,9533	1,6106	1,6586

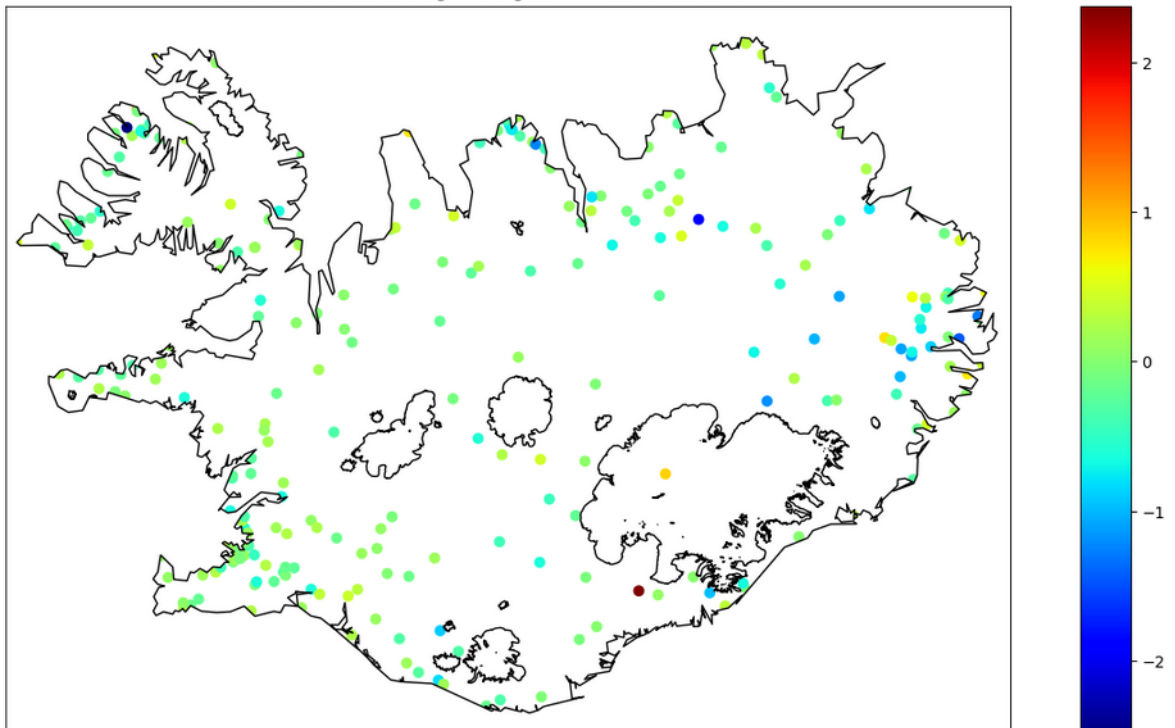
Enn fremur var reiknað meðaltal mismunar bcor leiðréttingargilda og brúaðra bcor gilda með jackknife aðferðinni fyrir hverja veðurathugunarstöð og teiknað á kort fyrir hvern þessarra mánaða. Þessi kort má sjá á myndum 7 til 10.

Meðal munur brúunar og B-Cor gilda á stöðvunum: nóvember 2020



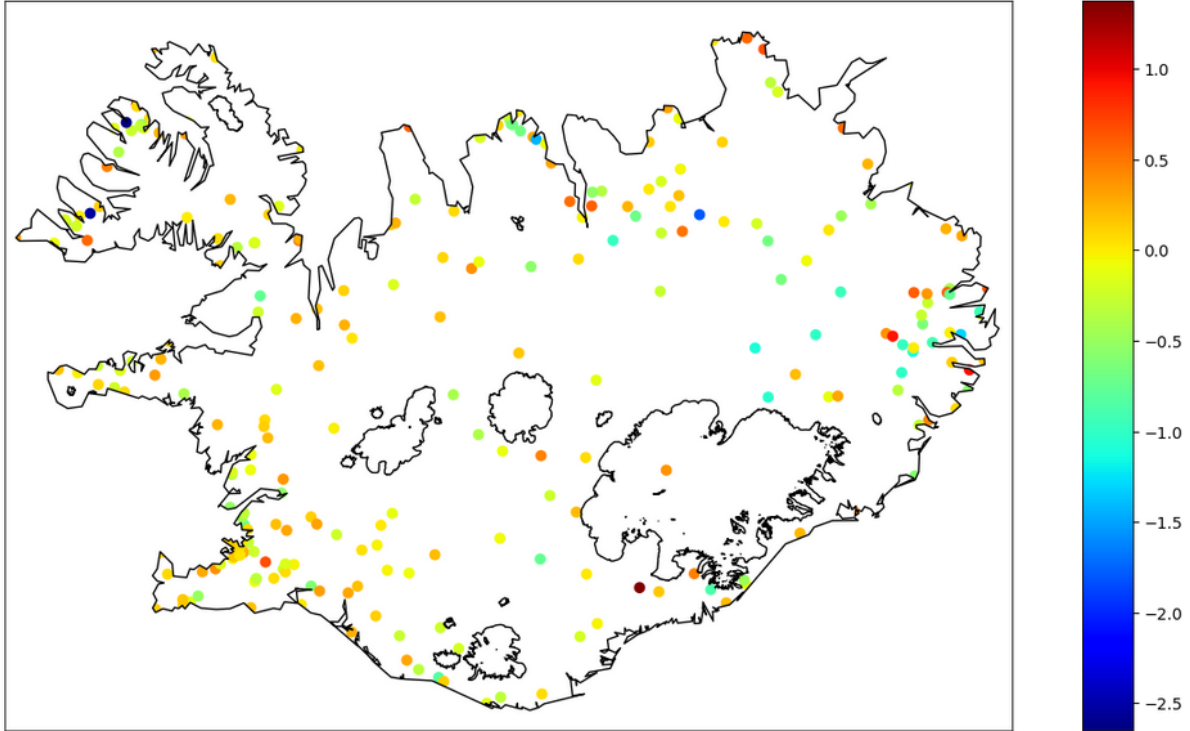
Mynd 7: Meðalmismunur bcor leiðréttingargilda og brúaðra gilda fyrir nóvember 2020.

Meðal munur brúunar og B-Cor gilda á stöðvunum: mars 2021



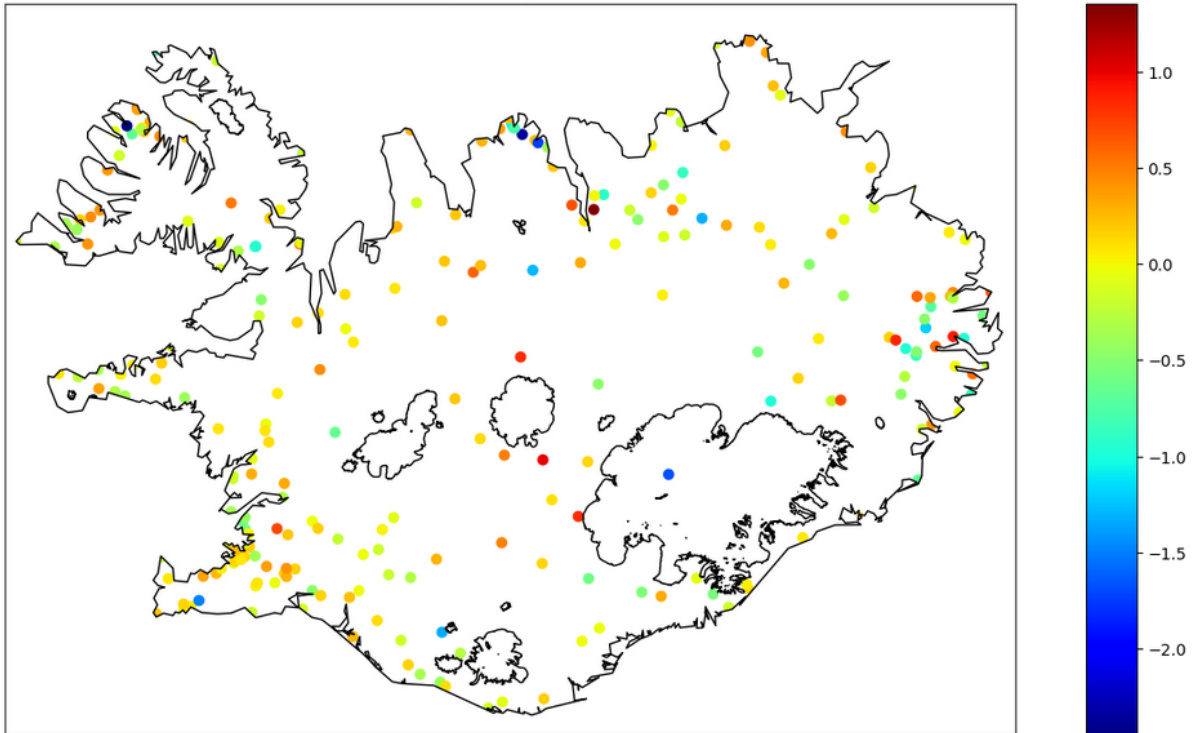
Mynd 8: Meðalmismunur bcor leiðréttingargilda og brúaðra gilda fyrir mars 2021.

Meðal munur brúunar og B-Cor gilda á stöðvunum: apríl 2021



Mynd 9: Meðalmismunur bcor leiðréttingargilda og brúaðra gilda fyrir apríl 2021.

Meðal munur brúunar og B-Cor gilda á stöðvunum: júní 2021



Mynd 10: Meðalmismunur bcor leiðréttingargilda og brúaðra gilda fyrir júní 2021.

Við þessa greiningu mátti sjá að þær stöðvar þar sem mestu munur er á bcor leiðréttingargildum og brúuðum gildum eru Botn í Súgandafirði, snjóflóðaathugunarstöðvar sem finna má almennt í bröttum hlíðum, við Kröflu, og á Fagradalsfjalli þar sem eldsumbrot hafa áhrif. Upprunalega var stefnt að því að finna sjálfvirka leið til þess að meta gæði brúaðra bcor leiðréttingarstuðla, og út frá því sleppa úr stöðvum, en það tókst þó ekki.

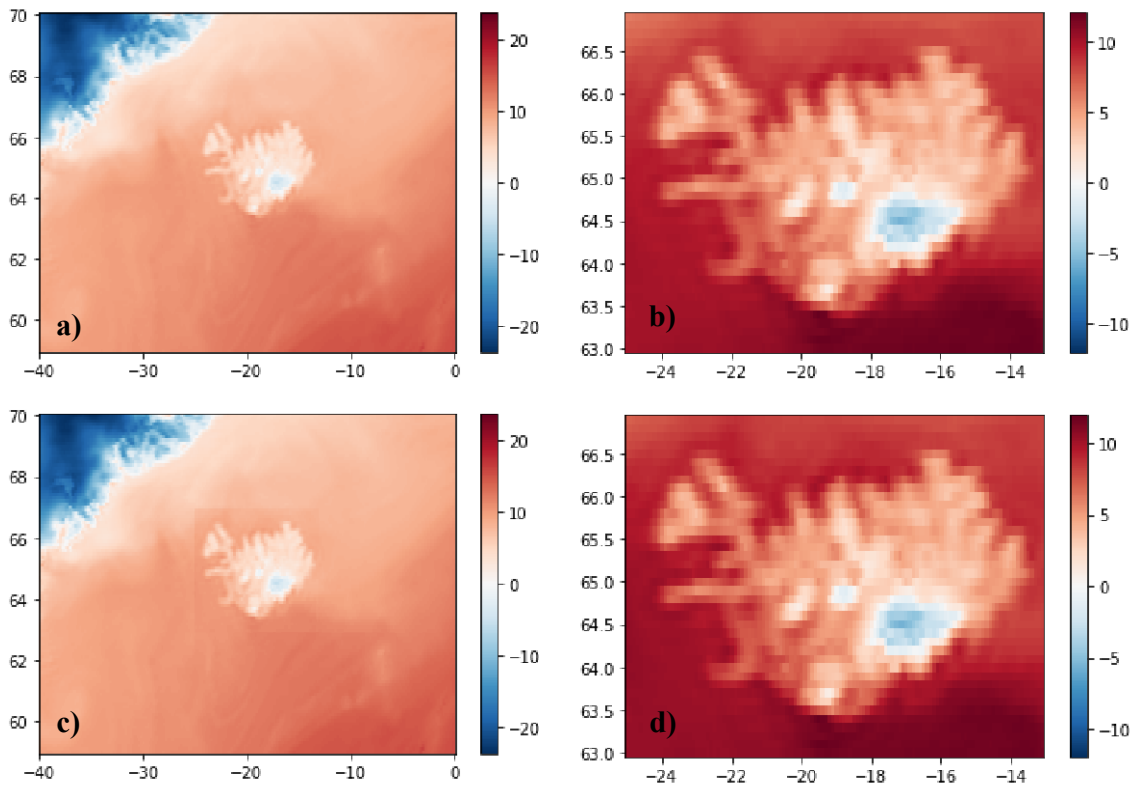
Aftur var keyrt fyrir heilan mánuð fyrir allar Harmonie veðurspár sem bárust í nóvember 2020, mars, apríl og júní 2021 fyrir spátíma 6, 12, 24 og 48 klst án þessara 10 veðurstöðva. Reiknað var staðalfrávik leifa á mismun á staðaspá og athugun, mismun á staðaspá leiðréttri með bcor stuðlum og athugun, mismun á staðaspá leiðréttri með brúuðum bcor stuðlum og athugun ásamt mismun á bcor stuðlum og brúuðum bcor stuðlum. Sjá má niðurstöður þessara útreikninga í töflu 4. Þar sést helst að staðalfrávik leifa á mismun staðaspáa og athugana er minni en áður. Áfram munar töluverðu um leiðréttingu með bcor stuðlum, eða í kringum 0,5°C að jafnaði. Mismunur staðaspáa leiðréttra með brúuðum bcor stuðlum og athugunum hefur lækkað töluverð, um allt að 0,7°C frá því sem áður var. Niðurstöðurnar sýna að það er þess virði að sleppa þeim veðurstöðvum sem koma verst út í samanburði á reiknuðum bcor stuðlum og brúuðum bcor stuðlum.

Tafla 4: Staðalfrávik leifa (RMSE) á mismuni staðaspáa, leiðréttra staðaspáa með bcor stuðlum ásamt staðaspáa leiðréttra með brúuðum bcor stuðlum og athugana. Ásamt staðalfrávik leifa á mismuni bcor stuðla og brúaðra bcor stuðla.

Mánuður	Spátími (klst)	RMSE: Staðapá - athugun (°C)	RMSE: Leiðréttt staðaspá með bcor - athugun (°C)	RMSE: Leiðréttt staðaspá með brúuðum bcor - athugun (°C)	RMSE: Brúuð bcor - bcor (°C)
Nóv '20	6	1,8120	1,4658	1,4910	0,4288
	12	1,9292	1,5266	1,5469	0,4399
	24	2,0080	1,6047	1,6148	0,4315
	48	2,1918	1,7527	1,7543	0,4503
Mars '21	6	1,8805	1,4960	1,5035	0,5602
	12	2,0096	1,5722	1,5657	0,5904
	24	2,0066	1,5908	1,5724	0,5826
	48	2,3795	1,9183	1,8710	0,6379
Apríl '21	6	1,8460	1,4554	1,4930	0,5713
	12	1,8990	1,5112	1,5416	0,5801
	24	1,8509	1,5208	1,5426	0,5578
	48	2,0363	1,7264	1,7113	0,5733
Júní '21	6	1,6516	1,3935	1,4398	0,6139
	12	1,7160	1,4195	1,4632	0,6105
	24	1,7827	1,4904	1,5260	0,6292
	48	1,8462	1,5886	1,5879	0,6134

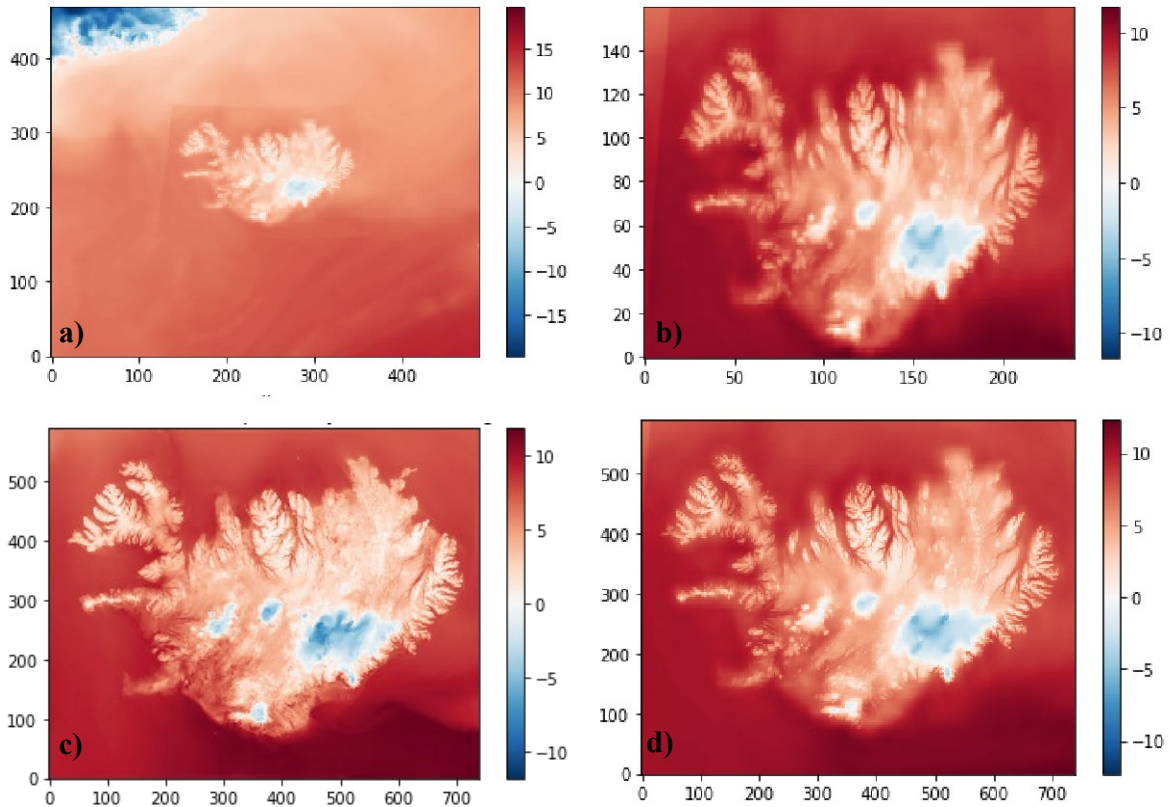
6 Niðurstöður

Niðurstöður verkefnisins er forrit sem getur bætt spár í rauntíma. Forrit sem skilar af sér leiðréttum spám ásamt leiðréttum spám í hærri upplausn sem taka tillit til upplýsinga sem til eru á þéttara neti en bæði bcor leiðréttingarstuðlarnir og net veðurlíkansins. EC-HRES er hægt að færa yfir í möskvastærð Harmonie spákorta, og bæði EC-HRES og Harmonie spár má færa yfir á háupplausnarkort með 750 metra möskvastærð.



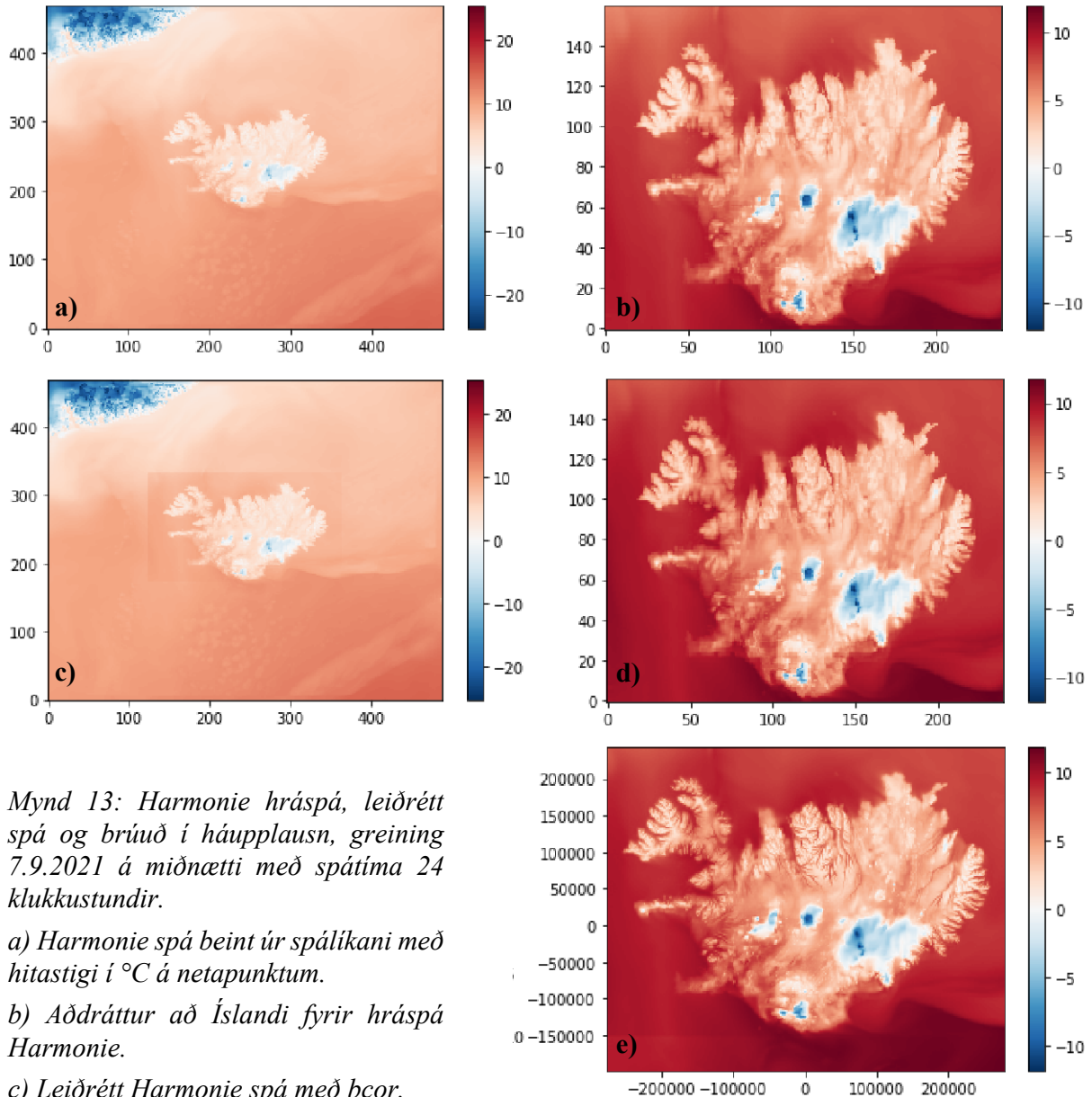
Mynd 11: EC-HRES hráspá og leiðrétt spá, greining 7.9.2021 á miðnætti með spátíma 24 klukkustundir.

- EC-HRES spá beint frá spálíkani með hitastigi í Celsíusgráðum á neti breiddar- og lengdarbauga.
- Aðdráttur að Íslandi af spákorti EC-HRES.
- Leiðrétt EC-HRES spá með bcor, sjá má móta fyrir útlínunum leiðréttingarsvæðisins.
- Aðdráttur að Íslandi af leiðréttri spá, erfitt er að greina mun á leiðréttri spá og hráspá í þessari upplausn, það er með 9 km möskvastærð. Þó hefur hitastig hækkað á Vestfjörðum sem sjá má betur í myndrænni framsetningu á mynd 14.



Mynd 12: EC-HRES leiðrétt spá, greining 7.9.2021 á miðnætti fyrir spátíma 24 klukkustundir færð á háupplausnarkort.

- Leiðréttu EC-HRES spá í °C færð yfir á net Harmonie veðurspákorta.
- Aðdráttur að Íslandi á leiðréttu spánni á Harmonie neti, við val á mörkum og teikningu teygðist aðeins á Íslandi. Myndin sýnir þó að mun meiri skerpa er komin í spákortið miðað við mynd 11.b og 11.d. Skerpan eykst þar sem Harmonie er á mun þéttara neti og því er um að ræða hærri upplausn landlíkans.
- Spá HARMONIE-AROME líkansins á 750 metra möskvaneti, HM750m, greining 7.9.2021 á miðnætti fyrir spátíma 24 klukkustundir. Myndin sýnir HM750m með hitastigi í °C á netapunktum.
- Leiðrétt EC-HRES spá færð yfir á net HM750m háupplausnarkort HARMONIE-AROME veðurlíkansins. Greinilegt er að skerpan eykst enn frekar frá mynd 12.b, ekki næst sama skerpa og í háupplausnarlíkanið HM750m en þó er EC-HRES spáin sem reiknuð er á 9 km möskvaneti og færð yfir á 750 metra möskvanet ekki svo fjarri HM750m spánni.



Mynd 13: Harmonie hráspá, leiðrétt spá og brúuð í háupplausn, greining 7.9.2021 á miðnætti með spátíma 24 klukkustundir.

a) Harmonie spá beint úr spálíkani með hitastigi í °C á netapunktum.

b) Aðdráttur að Íslandi fyrir hráspá Harmonie.

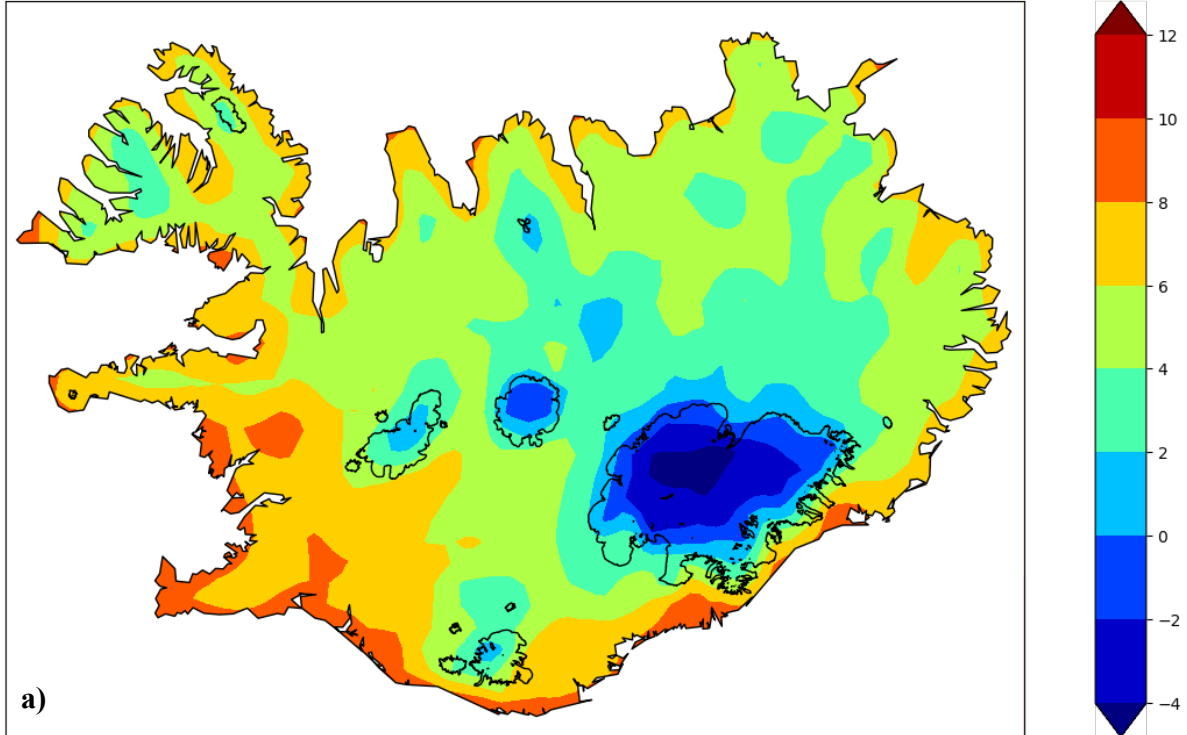
c) Leiðrétt Harmonie spá með bcor.

d) Aðdráttur að Íslandi fyrir leiðréttu Harmonie spá.

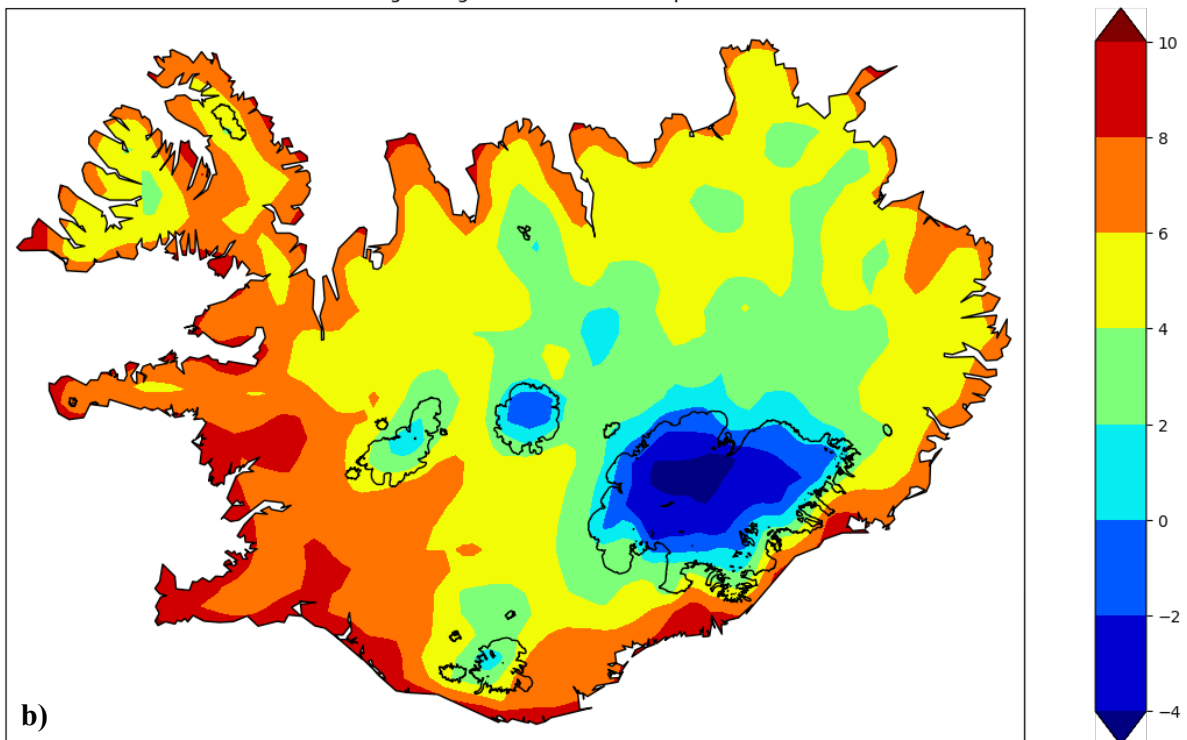
e) Leiðrétt Harmonie spá færð yfir á net HM750m.

Á myndum 11–13 má sjá spákort fyrir þrjá spálíkanreikninga: EC-HRES með 9 km möskvastærð, Harmonie með 2,5 km möskvastærð og HM750m með 750 metra möskvastærð. Spárnar eru allar með greiningartíma á miðnætti 7.september 2021 fyrir spátíma 24 klst. Ekki er auðvelt að sjá mun á hráspám EC-HRES og Harmonie líkananna og leiðréttum spám á myndum 11 og 13. Muninn má greina betur á myndum 14 og 15, þó þarf að varast að ekki er nákvæmlega sami litakvarði á myndum 14 og 15. Ennfremur má sjá frekari myndræna framsetningu gagna á myndum 11-14 í viðauka III.

EC-HRES greining 2021-09-07 00:00: spátími 24 klst

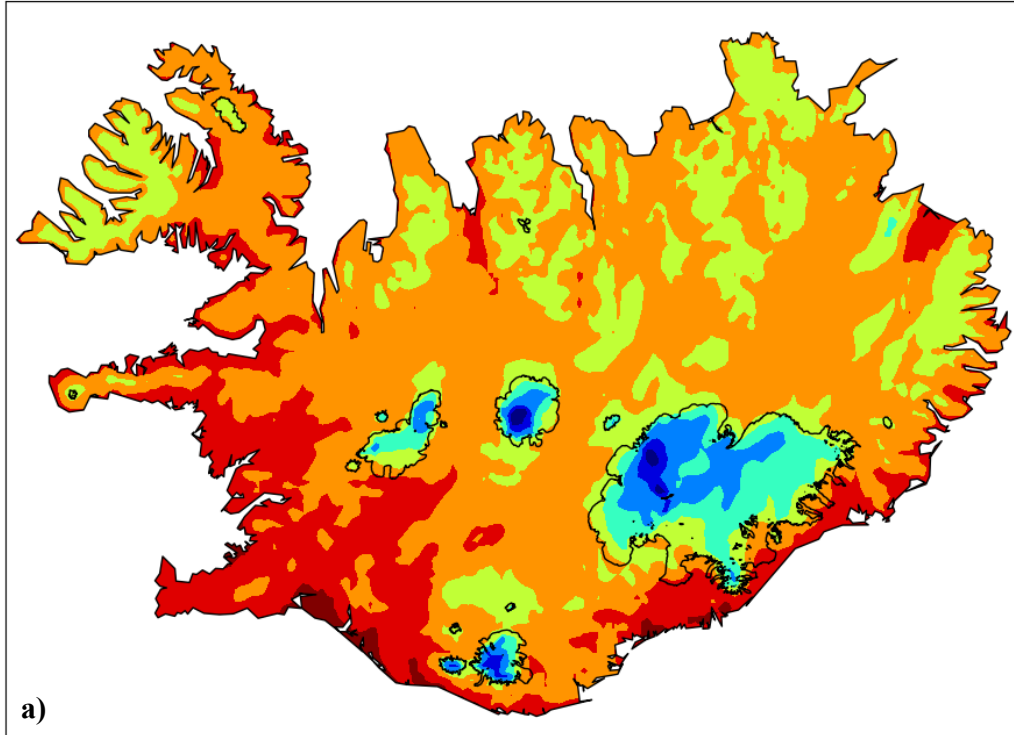


EC-HRES leiðrétt greining 2021-09-07 00:00: spátími 24 klst

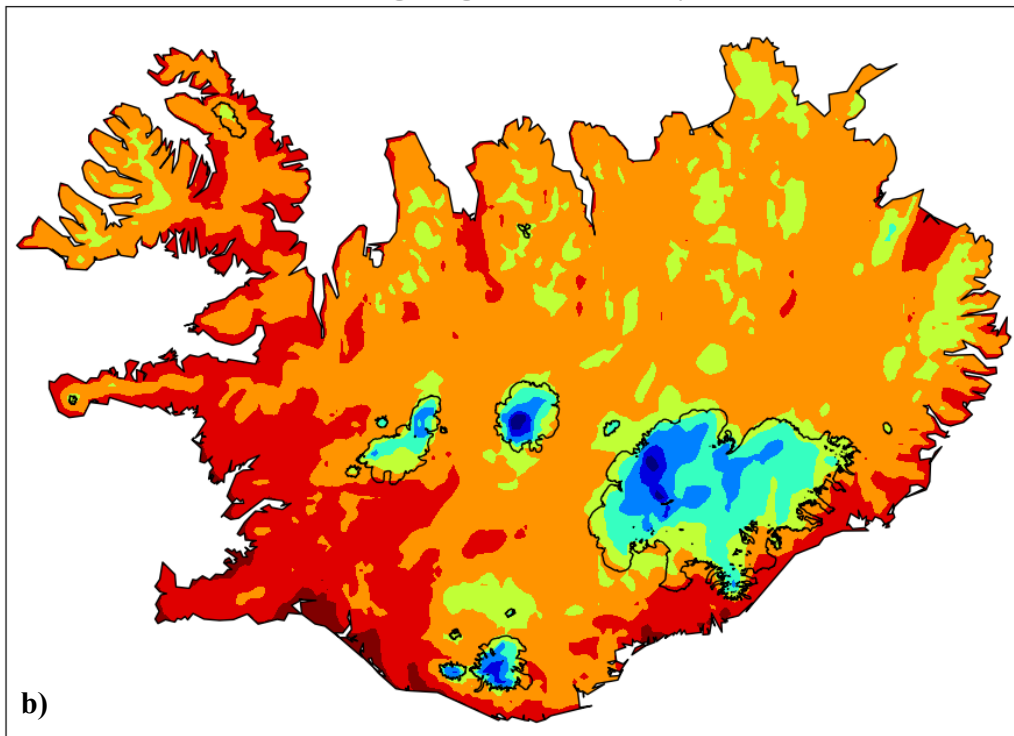


Mynd 14: EC-HRES hráspá og leiðrétt spá, greining 7.9.2021 á miðnætti með spátíma 24 klukkustundir, myndræn framsetning. a) EC-HRES spá beint frá spálíkani með hitastigi í °C. b) Leiðrétt EC-HRES spá, helst má sjá mun á og nærri Vestfirðum. Athugið þó að litakvarðinn er ekki eins fyrir báðar framsetningar.

Harmonie greining 2021-09-07 00:00: spátími 24 klst



Harmonie leiðrétt greining 2021-09-07 00:00: spátími 24 klst



Mynd 15: Harmonie hráspá og leiðrétt spá, greining 7.9.2021 á miðnætti með spátíma 24 klukkustundir, myndræn framsetning. a) Harmonie spá beint frá spálíkani með hitastigi í °C. b) Leiðrétt Harmonie spá. Töluverðan mun má greina, sér í lagi við fjallendi svo sem á Tröllaskaga og Vestfjörðum.

7 Umræður

Sjá má af myndum 11 og 14 að erfitt getur reynst að sjá leiðréttingu á EC-HRES veðurspá með berum augum, af mynd 14 má þó augljóslega sjá að skalinn hefur lækkað og hitastig til að mynda hækkað í Ísafjarðardjúpi. Mun greinilegar má sjá leiðréttingu á Harmonie veðurspánni, á myndum 13 og 15, sér í lagi á mynd 15. Kemur þetta til vegna möskvastærðar nets spákortanna þar sem mun fleiri reiknipunktur eru fyrir Harmonie veðurspárnar en fyrir EC-HRES og leiðréttingarstuðlar brúaðir á net spálíkansins þar af leiðandi einnig fleiri.

Brúun leiðréttra spákorta yfir á háupplausnarkort er mikið greinilegri breyting. EC-HRES má færa yfir á net Harmonie og HM750m veðurspáa, sjá mynd 12. Við það að færa EC-HRES leiðrétta spána niður að sjávarmáli, yfir á þéttara net og reikna að lokum upp í hæð háupplausnansins má fá mun greinilegri mynd af hitastigi yfir Íslandi í 2ja metra hæð. Spáin hefur ekki eingöngu verið leiðrétt fyrir brúaða bcor stuðla heldur hefur enn fremur verið tekið tillit til hitafallanda með því að reikna spána upp frá sjávarmáli með hæðarlíkani í mun hærri upplausn. Upplausn spákortanna er því mun betri eftir leiðréttingu, eins og auðvelt er að sjá af myndum 11 og 12. EC-HRES mætti færa yfir á reikninet Harmonie veðurspáa en með því fengist heildstæðari tímalína í hitastigs veðurþáttakortum á vefsíðu Veðurstofu Íslands. Í dag er töluvert stökk í upplausn spákorta þegar farið er frá spákortum Harmonie og yfir í spákort EC-HRES. Enn fremur mætti færa bæði EC-HRES og Harmonie veðurspár fyrir hitastig yfir á nákvæmara reikninet HM750m og með því fá enn skarpari upplausn, slíkan samanburð má gera á myndum í viðauka II þó taka þurfi tillit til þess að ekki er sami litakvarði á öllum myndunum. Með því að beita brúuðum bcor leiðréttingarstuðlum á net veðurspáanna og nýta finna landlíkan má því fá nákvæmari hitaspár fyrir allt landið, en ekki eingöngu þar sem veðurstöðvar er að finna.

Aðferðin sem hér var þróuð getur brúað almennar leiðréttingar fyrir hitakort, þetta þýðir að notkunarmöguleikar eru víðtækari en einungis leiðréttingar á spám. Til að mynda má einnig nýta aðferðina til þess að brúa önnur kort, þar sem bæði hitakort og leiðréttingar á stöðvum eru til staðar. Má þar á meðal nefna kort af mánaðarmeðalhita.

Betri veðurspár eru mikilvægar daglegu lífi sem og fyrir almannaheill. Þær eru grunnur spáa fyrir færð hvort sem er á landi, í legi eða á lofti. Einnig eru betri veðurspár mikilvægar fyrir viðbragsaðila sem og einkaaðila, í ferðaþjónustu, orkuiðnaði og fleira. Hagnýtingargildi verkefnisins er því ótvírætt. Útbúin hafa verið forrit sem bæta núverandi veðurspár og munu nýtast beint í starfsemi Veðurstofunnar, auk þess að vera miðlað til almennings og hagsmunaaðila. Unnið verður að því að koma leiðréttum spákortum í tekstur á Veðurstofu Íslands fyrir veturinn.

Heimildaskrá

- Akima, H. (1996). Algorithm 761: scattered-data surface fitting that has the accuracy of a cubic polynomial. *ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS)*, 22(3), 362-371.
- Boi, P. (2004). A statistical method for forecasting extreme daily temperatures using ECMWF 2-m temperatures and ground station measurements. *Meteorological Applications*, 11(3), 245-251.
- Bolli Pálmason. (2016). Leiðrétting á hitaspám. http://vedur.org/wp-content/uploads/2016/06/sumarthing2016_bolli.pdf
- ECMWF. (á.d.). What are GRIB files and how can I read them. <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/What+are+GRIB+files+and+how+can+I+read+them>
- Garðar Þór Magnússon. (2013, 23. janúar). Leiðbeiningar með veðurþáttaspám. Veðurstofa Íslands. www.vedur.is/vedur/frodleikur/greinar/nr/841#lesa_textaspar
- Guðrún Nína Petersen. (2010, 26. nóvember). Áhrif reikninets á veðurspár. Veðurstofa Íslands. www.vedur.is/vedur/frodleikur/greinar/nr/2055
- KITANITIS, P. K. (1997): *Introduction to Geostatistics: Applications in Hydrogeology.* – Cambridge University Press, 271 pp.
- PyKrige. (á.d.). PyKrige: <https://geostat-framework.readthedocs.io/projects/pykrige/en/stable/>
- Sigurður Þorsteinsson, Bolli Pálmason, Guðrún Nína Petersen & Halldór Björnsson. (2020, 31. mars). Hvað þarf til að spá í veðrið? Veðurstofa Íslands. www.vedur.is/vedur/frodleikur/greinar/vedurfraedi/hvad-tharf-til-ad-spa-i-vedrid
- Veðurstofa Íslands. (2011, 9. mars). Reiknimiðstöð Evrópskra veðurstofa. www.vedur.is/vedur/frodleikur/greinar/nr/2140.
- Veðurstofa Íslands. (2015, 2. nóvember). HARMONIE veðurspálíkanið. www.vedur.is/vedur/frodleikur/greinar/nr/3226.

Viðauki I. Tafla með hæð veðurstöðva

Tafla með hæð veðurstöðva ásamt hæð þeirra í reiknineti Harmonie og EC-HRES veðurspáa reiknuðum með línulegri brúun.

Stöðvarnúmer	Hæð stöðvar yfir sjávarmáli (m)	Hæð stöðvar í neti Harmonie (m)	Hæð stöðvar í neti EC-HRES (m)
1350	50	34.0	20.7
1361	9	19.9	31.4
1370	41	38.8	89.6
1395	3	2.3	15.9
1453	4	3.0	-7.4
1471	4	2.6	-0.7
1473	7	17.7	83.5
1474	37	53.8	110.4
1475	52	23.1	63.0
1477	12	8.1	43.9
1478	4	36.0	104.4
1479	35	56.3	152.4
1480	35	11.2	104.5
1481	130	114.6	221.3
1482	71	78.9	149.1
1485	530	511.4	287.0
1486	530	504.1	276.0
1487	530	505.2	290.3
1490	380	368.3	269.6
1493	360	375.9	231.0
1496	583	418.2	268.9
1578	20	134.8	98.7
1590	771	414.2	268.5
1596	110	151.5	319.7
1673	20	60.3	80.7
1679	480	499.9	169.4
1685	61	67.8	293.8
1689	500	448.0	274.9
1779	12	16.8	112.7
1781	14	13.6	83.7
1868	40	41.4	43.1
1881	115	106.2	133.1
1919	7	17.6	77.7
1924	19	128.8	173.2
<i>Framhald á næstu síðu</i>			

Stöðvarnúmer	Hæð stöðvar yfir sjávarmáli (m)	Hæð stöðvar í neti Harmonie (m)	Hæð stöðvar í neti EC-HRES (m)
1936	17	49.4	152.6
1938	17	152.5	155.3
2050	12	7.8	26.6
2175	47	100.4	266.1
2197	9	41.0	132.0
2266	6	18.2	35.6
2304	35	27.4	29.3
2315	4	136.6	144.8
2319	43	124.0	224.2
2320	350	175.5	215.5
2323	8	155.8	264.7
2370	377	387.1	265.8
2390	282	148.3	54.9
2428	16	201.4	223.5
2480	238	133.5	132.1
2481	10	45.6	178.8
2530	16	95.9	242.6
2631	3	101.1	286.1
2636	753	516.9	339.6
2641	283	317.4	294.2
2642	2	204.8	291.9
2643	10	80.9	188.3
2646	10	135.2	201.6
2655	21	-7.6	162.8
2692	31	10.1	84.1
2693	30	9.7	81.5
2738	27	152.4	157.1
2862	22	107.2	84.9
2941	7	53.9	39.6
3007	383	293.3	294.8
3054	785	785.8	780.9
3103	118	173.0	185.5
3223	20	157.3	352.2
3225	506	469.7	489.5
3242	111	166.1	394.2
3292	405	403.4	416.3
3317	8	20.1	85.0
3371	25	125.7	592.4
3380	220	429.6	540.2
<i>Framhald á næstu síðu</i>			

Stöðvarnúmer	Hæð stöðvar yfir sjávarmáli (m)	Hæð stöðvar í neti Harmonie (m)	Hæð stöðvar í neti EC-HRES (m)
3433	0	25.9	167.4
3463	15	196.5	355.5
3471	31	66.5	362.7
3477	120	287.8	397.3
3490	390	394.6	432.8
3591	40	86.2	214.4
3596	390	409.9	293.1
3658	5	165.1	272.1
3696	28	81.8	154.0
3720	9	7.4	27.4
3751	35	133.2	111.1
3752	6	279.0	220.4
3754	8	68.6	108.2
3779	22	3.3	117.2
3797	17	45.8	104.6
3976	19	6.6	-1.3
4019	563	615.6	626.6
4060	60	181.7	405.1
4180	92	339.1	531.9
4181	400	442.0	542.1
4182	37	378.0	530.3
4193	10	102.1	47.6
4271	23	56.6	280.2
4275	949	683.7	479.2
4300	282	281.3	362.1
4323	390	393.7	442.4
4380	28	130.1	209.8
4406	455	497.4	443.4
4455	44	95.3	301.7
4472	20	53.1	47.5
4500	311	319.0	410.7
4614	31	53.9	127.2
4652	25	44.5	126.6
4828	4	26.9	45.2
4830	450	453.4	535.1
4867	43	7.6	-1.2
4912	59	4.7	6.4
4921	10	18.3	9.0
5210	57	8.1	-14.6
<i>Framhald á næstu síðu</i>			

Stöðvarnúmer	Hæð stöðvar yfir sjávarmáli (m)	Hæð stöðvar í neti Harmonie (m)	Hæð stöðvar í neti EC-HRES (m)
5309	9	32.1	172.3
5316	30	176.2	337.5
5544	5	0.4	67.7
5777	49	4.4	0.3
5825	748	712.2	704.0
5847	750	651.2	710.3
5872	20	77.3	152.9
5885	29	15.0	93.8
5933	639	631.9	695.5
5940	373	478.1	590.0
5943	655	659.8	715.8
5960	573	440.3	397.6
5965	300	245.0	452.5
5969	500	645.0	516.0
5970	634	642.5	504.8
5975	43	193.0	533.2
5981	2	308.2	482.1
5982	8	134.4	333.1
5988	5	57.7	67.6
5990	49	97.2	169.8
5992	559	265.5	186.6
5993	18	0.3	35.4
6012	36	0.8	-1.8
6015	40	31.6	-9.0
6017	118	2.9	-2.2
6045	20	13.6	68.5
6134	12	23.9	211.4
6176	6	1.0	-8.1
6208	10	8.8	17.3
6222	90	80.1	101.2
6237	239	431.9	740.2
6272	22	36.3	106.0
6300	20	24.2	43.7
6310	52	54.8	73.9
6315	20	33.2	30.1
6420	87	94.7	101.7
6424	125	120.5	185.4
6430	249	253.7	337.5
6459	675	643.9	627.7
<i>Framhald á næstu síðu</i>			

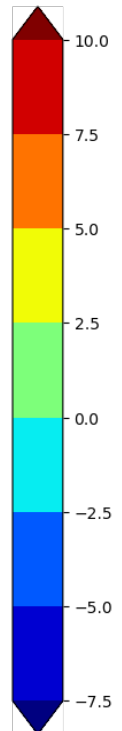
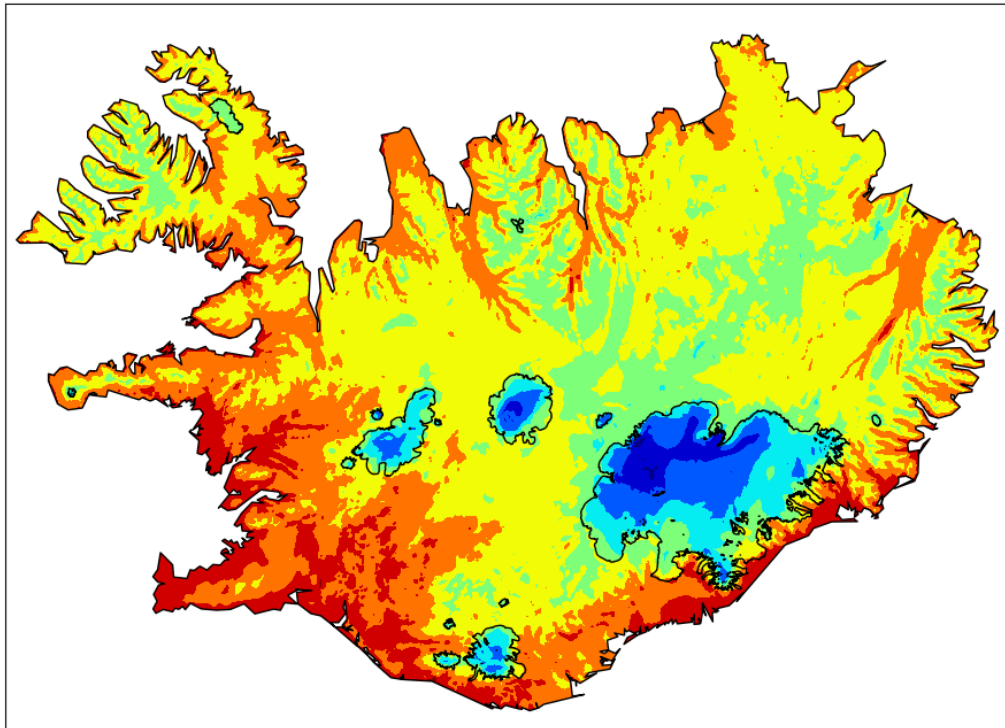
Stöðvarnúmer	Hæð stöðvar yfir sjávarmáli (m)	Hæð stöðvar í neti Harmonie (m)	Hæð stöðvar í neti EC-HRES (m)
6472	555	547.7	540.8
6499	86	125.5	462.0
6515	88	92.2	203.2
6546	539	537.4	511.1
6657	647	655.1	687.1
6670	726	690.0	781.7
6745	925	767.5	785.7
6748	693	693.8	772.9
6760	620	596.9	579.2
6776	819	820.2	891.8
6802	132	256.9	432.5
6935	641	650.7	679.3
6975	820	801.1	791.3
7475	52	22.9	62.8
7659	450	325.7	267.2
7736	500	190.7	147.9
7738	45	190.5	160.4
7753	550	305.5	178.5
7790	1689	1664.9	1640.1
31109	116	89.4	136.2
31122	370	324.6	270.1
31363	25	45.3	65.4
31364	57	49.1	41.0
31365	135	51.1	47.7
31380	20	14.5	110.4
31387	260	304.5	271.5
31392	360	368.1	254.0
31399	51	95.5	80.8
31475	42	51.2	103.1
31488	105	229.8	292.2
31572	37	68.6	50.7
31577	46	93.6	96.4
31578	65	115.4	119.1
31579	10	85.2	115.4
31591	270	254.3	274.5
31599	132	185.2	301.5
31674	25	80.8	83.6
31840	10	18.4	124.7
31882	66	51.7	78.5
<i>Framhald á næstu síðu</i>			

Stöðvarnúmer	Hæð stöðvar yfir sjávarmáli (m)	Hæð stöðvar í neti Harmonie (m)	Hæð stöðvar í neti EC-HRES (m)
31931	361	276.6	195.0
31932	25	53.4	137.8
31942	3	57.8	114.5
31948	226	271.6	224.8
31950	70	92.5	159.8
31958	65	83.1	129.5
31985	390	445.3	389.0
32097	370	355.2	392.8
32179	230	381.0	336.0
32190	200	197.6	221.1
32224	400	359.1	266.4
32322	525	441.5	254.5
32355	330	232.1	299.2
32365	305	195.6	227.5
32372	72	82.1	191.5
32377	370	386.0	263.6
32390	260	178.6	66.3
32474	440	434.7	418.7
32533	250	431.7	352.8
32635	270	378.6	288.5
32654	40	38.0	91.4
33204	120	135.1	180.1
33357	540	669.3	880.8
33394	350	303.0	262.4
33419	40	77.9	153.8
33424	330	316.2	353.9
33431	420	385.6	346.8
33451	41	112.3	452.6
33480	120	276.7	335.2
33487	238	172.4	303.6
33495	350	351.7	334.6
33563	103	123.1	281.7
33576	325	403.1	330.9
33643	40	102.9	150.3
33652	56	273.4	232.2
33654	20	368.4	284.1
33661	73	284.5	216.0
33750	20	125.1	178.5
33751	66	140.5	115.7
<i>Framhald á næstu síðu</i>			

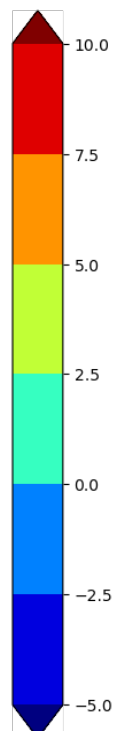
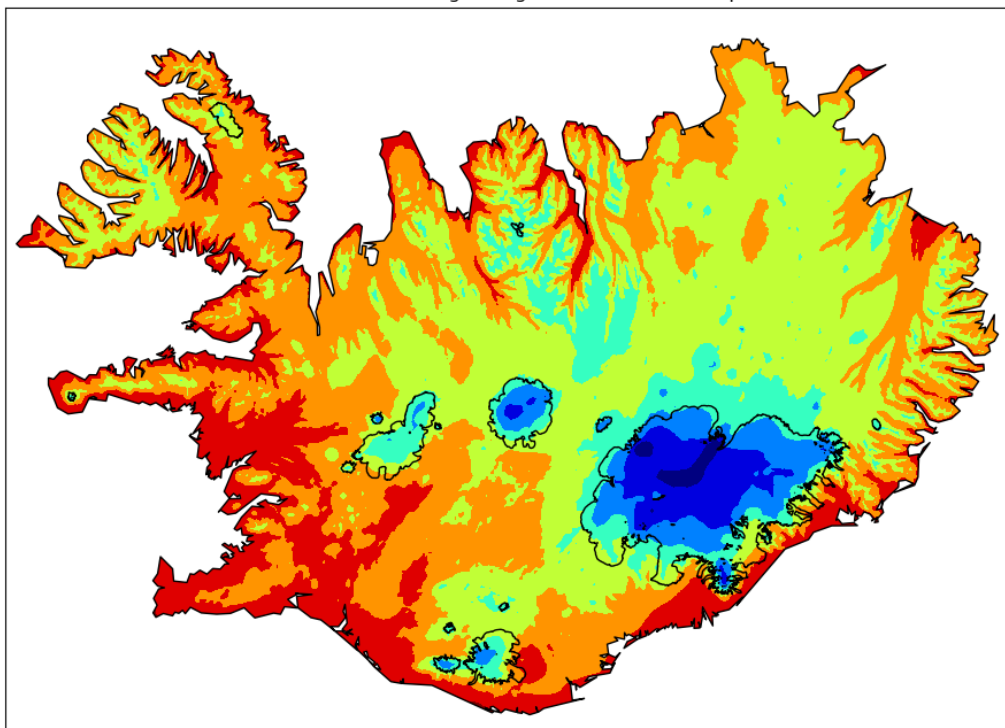
Stöðvarnúmer	Hæð stöðvar yfir sjávarmáli (m)	Hæð stöðvar í neti Harmonie (m)	Hæð stöðvar í neti EC-HRES (m)
34073	350	631.7	489.9
34081	322	506.0	456.9
34087	520	413.2	367.9
34148	473	524.9	550.0
34175	600	548.2	447.9
34238	550	580.2	601.3
34326	521	509.8	508.7
34348	440	427.8	405.8
34382	430	323.2	150.6
34413	390	373.3	383.2
34450	212	361.9	315.2
34559	275	239.4	159.8
34700	93	146.0	158.5
34732	217	174.7	110.7
34733	180	184.0	117.7
35107	110	104.8	59.2
35116	20	74.6	200.2
35305	75	128.4	383.3
35315	30	75.2	262.1
35666	20	37.7	48.5
35769	19	90.9	218.3
35880	10	137.7	99.0
35884	37	77.5	116.4
35963	531	560.2	588.5
35965	480	465.4	568.8
35985	40	112.3	143.7
36049	125	132.6	169.2
36122	42	40.1	127.3
36127	20	99.6	190.9
36132	20	157.7	254.4
36156	35	36.1	20.7
36270	90	73.9	130.3
36308	49	52.9	61.0
36386	55	110.7	219.7
36391	58	51.5	69.8
36411	60	73.7	103.3
36415	66	64.7	136.5
36504	215	216.9	223.3
36519	191	149.6	246.5

Viðauki II. Frekari myndgreining niðurstaða

HM750m greining 2021-09-07 00:00: spátími 24 klst



EC-HRES leiðrétt á 750 m neti greining 2021-09-07 00:00: spátími 24 klst



Harmonie leiðrétt á 750 m neti greining 2021-09-07 00:00: spátími 24 klst

