Útgáfufélagið Slemba

Rit Reiknistofu í veðurfræði

Ólafur Rögnvaldsson Hálfdán Ágústsson Haraldur Ólafsson

# Aflræn niðurkvörðun veðurs innan LOKS verkefnisins

Reykjavík Janúar 2011

### Inngangur

Innan LOKS verkefnisins eru þrír verkþættir er lúta sérstaklega að aflrænni (e. dynamic) niðurkvörðun veðurs:

- Reikningar í þéttu neti. Veður áranna 1958-2009 verður reiknað í 27 og 9 km neti fyrir allt landið og fyrir skemmra tímabil á 3 km neti ("vatnsárin" 1994-2009). Ennfremur verða valin svæði reiknuð á 1 km neti fyrir skemmri tímabil.
- Niðurkvörðun stýrikeyrslu. Tímabilið 1960-09-01 til 1990-09-01 úr stýrikeyrslu veðurfarslíkansins Arpege verður kvarðað niður á 27, 9 og 3 km net.
- 3. Niðurkvörðun á valinni sviðsmynd. Tímabilið 2020-09-01 til 2051-09-01 úr Arpege verður kvarðað niður á 27, 9 og 3 km net. Sviðsmyndin sem um ræðir er SRES A1B (Nakicenovic et al., 2000).

Verður hér leitast við að varpa ljósi á þá aðferðafræði sem býr að baki þessum reikningum.

### Aflræn niðurkvörðun

Aflræn niðurkvörðun nefnist það þar sem fínkvarða lofthjúpslíkan er þvingað með jaðarskilyrðum sem byggja á grófkvarða lofthjúpsgreiningu. Í okkar tilfelli kemur greiningin frá Evrópsku reiknimiðstöðinni í Reading (ECMWF). Bæði var notast við ERA40 greininguna (Uppala et al., 2005), en frá og með september 1999 var notast við hefðbundna lofthjúpsgreiningu (e. operational analysis).

Lofthjúpsgreiningin er byggð jafnt á mælingum og veðurreikningum og lýsir hnattrænt hvað best ástandi lofthjúpsins á hverjum tíma. Upplausn gagnanna (stærð reiknimöskvanna) er þó ekki nægileg til að þau taki fullnægjandi tillit til landslags þar sem fjöll eru há og brött, líkt og á Íslandi.

### Tímabilið 1957 til 2009

Með fyrrnefndri niðurkvörðun var fínkvarða lofthjúpslíkaninu AR-WRF (Skamarock et al., 2005) beitt til þess að endurreikna ástand lofthjúpsins yfir Íslandi í hærri upplausn svo landslagi sé betur lýst, og þar af leiðandi einnig staðbundnu veðri í flóknu landslagi. Þetta er gert fyrir allt Ísland með láréttri reikniupplausn sem er 27, 9 km (tímabilið 1957-09-01 til 2009-09-01) og 3 km (tímabilið 1994-09-01 til 2009-09-01), og með 55 reikniflötum frá yfirborði og upp í hæð 50 hPa flatarins. Ennfremur var Þjórsár-, Tungnaársvæðið reiknað með 1 km reikniupplausn fyrir tímabilið 2002-09-01 til 2009-09-01. Staðsetning og stærð reiknisvæða er sýnd á 1. mynd.



Mynd 1: Uppsetning reiknisvæða fyrir aflræna niðurkvörðun innan LOKS verkefnisins af lofthjúpsgreiningu frá Evrópsku reiknimiðstöðinni í Reading. Tímabilið 1957-09-01 til 2009-09-01 hefur verið reiknað með 27 og 9 km möskvum. Tímabilið 1994-09-01 til 2009-09-01 hefur ennfremur verið reiknað með 3 km möskvum. Loks hefur tímabilið 2002-09-01 til 2009-09-01 verið reiknað með 1 km möskvum fyrir Þjórsár-, Tungnaársvæðið.

### Framtíðarsviðsmynd og stýrikeyrsla

Á sambærilegan máta má kvarða niður framtíðarveðurfar, þ.e. reikniniðurstöður úr grófkvarða líkönum er lýsa framtíðarsviðsmyndum veðurfars. Þetta hefur verið gert fyrir reiknigögn úr Arpege líkaninu fyrir tímabilið 2020-09-01 til 2051-09-01.



Mynd 2: Uppsetning reiknisvæða fyrir aflræna niðurkvörðun úr Arpege líkaninu. Efri hluti myndarinnar sýnir staðsetningu og stærð reiknisvæða (27, 9 og 3 km) en neðri mynd sýnir líkanhæð yfir sjó fyrir reiknisvæði með 27 km möskvum.

Lýsing á Arpege gögnunum er að finna í greinargerð<sup>1</sup> sem unnin var fyrir veðurfarshóp CES verkefnisins og er hún fylgiskjal með áfangaskýrslu þessari.

Ennfremur hefur stýrikeyrsla sama líkans verið kvörðuð niður fyrir tímabilið 1960-09-01 til 1990-09-01. Lárétt reikniupplausn var 27, 9 og 3 km og fjöldi lóðflata frá yfirborði til 50 hPa flatarins var 41. Reiknisvæðin eru sýnd á 2. mynd. Þar eð innlagsgögn frá Arpege eru á öðru sniði en gögn Evrópsku reiknimiðstöðvarinnar

burfti að leysa ýmis praktísk vandamál áður en hægt var að nota bau inn í AR-WRF líkanið. Þessu er lýst nánar í greinargerð Rögnvaldsson & Ágústsson, 2009<sup>2</sup>. Þau vandamál sem enn voru til staðar í árslok 2009 voru levst farssællega í ársbyrjun 2010. Lausnin fólst í að útbúa svokallaða LAND-SEA skrá sem innihélt upplýsingar, á sama reiknineti og innlagsgögnin frá Arpege, um hvaða reiknimöskvar voru "sjór" og hvaða reiknimöskvar voru "land". Með þessu móti var hægt að brúa sjávarhita rétt að strandlínum og losna bar með við óraunhæfa hitastigla þar sem brattlent var og/eða jöklar gengu nærri sjó, svo sem við SA-strönd Íslands. Röng brúun sjávarhita leiddi meðal annars af sér að AR-WRF líkanið hóf hafísmyndun á kynlegustu stöðum (sjá mynd 3 í Rögnvaldsson & Ágústsson, 2009), ennfremur varð úrkomumynstur óraunhæft (mynd 7 t.v. í Rögnvaldsson & Ágústsson, 2009).

Þriðja mynd hér til hægri sýnir glöggt við hvað var að glíma. Athugið að hitagildi sjávar yfir landi eru ekki notuð innan AR-WRF líkansins þótt þau séu sýnd á myndinni til glöggvunar.



Mynd 3: Brúun sjávarhita úr grófmöskvagögnum frá Arpege reyndist snúin áður en LAND-SEA gögnin voru búin til. Þetta sést glöggt á efri hluta myndarinnar, en þar nær kaldur massi Vatnajökuls langt út fyrir SAströnd Íslands, eins og hún lítur út í 3 km reiknineti. Eftir að LAND-SEA skráin var útbúin var hægt að brúa sjávarhitann á mun raunsærri máta (neðri mynd). Hitakvarði er í gráðum Kelvin (mið mynd).

<sup>1</sup> Ó. Rögnvaldsson, H. Ágústsson og H. Ólafsson, sjá fylgiskjal.

<sup>2</sup> Fylgiskjal með greinargerð þessari.

# Uppsetning reiknilíkans og útlagsgögn

Taflan hér fyrir neðan gefur yfirlit yfir reitskipt mæli- og reiknigögn, ásamt stöðu reikninga og gagnaflutninga frá Noregi til Íslands.

Nafn	Uppruni innlagsg agna	Tímabil	Net	Fjöldi punkta í reiknisvæði	Líkan	Athugasemd ir
E-WRF27	ERA40 og ECMWF op.analys	Sep 1957 til Sep 2009	27 km	43x42x55(z)	WRF - V3.0.1	Lokið, búið að flytja gögn til Íslands
E-WRF9	ERA40 og ECMWF op.analys	Sep 1957 til Sep 2009	9 km	95x90x55(z)	WRF – V3.0.1	Lokið, búið að flytja gögn til Íslands
E-WRF3	ERA40 og ECMWF op.analys	Sep 1994 til Sep 2009	3 km	196x148x55(z)	WRF – V3.0.1	Lokið, búið að flytja gögn til Íslands
E-WRF1	ERA40, ECMWF op.analys	Sep 2002 til Sep 2009	1 km	202x202x55(z), Þjórsár- Tungnaársvæði ð	WRF - V3.0.1	Lokið, verið að flytja gögn til Íslands
CtrArp27	ERA40/Ar pege	Sep 1960 til Sep 1990	27 km	350x180x41(z)	WRF - V3.1.1	Lokið, verið að flytja gögn til Íslands
CtrArp9	ERA40/Ar pege	Sep 1960 til Sep 1990	9 km	94x91x41(z)	WRF – V3.1.1	Lokið, verið að flytja gögn til Íslands
CtrArp3	ERA40/Ar pege	Sep 1960 til Sep 1990	3 km	196x148x41(z)	WRF - V3.1.1	Lokið, verið að flytja gögn til Íslands
A1BArp27	Arpege	Sep 2020 til Sep 2051	27 km	350x180x41(z)	WRF - V3.1.1	Lokið, verið að flytja gögn til Íslands
A1BArp9	Arpege	Sep 2020 til Sep 2051	9 km	94x91x41(z)	WRF - V3.1.1	Lokið, verið að flytja gögn til Íslands
A1BArp3	Arpege	Sep 2020 til Sep 2051	3 km	196x148x41(z)	WRF - V3.1.1	Lokið, verið að flytja gögn til Íslands
LtPrecCtr	ERA40	1961 til 1990	1 km	allt Ísland, úrkoma	LT líkan PC	Gögn á VÍ
obsT2Ctr	Mælingar VÍ	1961 til 1990	1 km	allt Ísland, hiti í 2m	Sigga Sif	Gögn á VÍ

Tafla 1: Yfirlit yfir reitskipt gögn.

Önnur tafla gefur yfirlit yfir helstu reikniskjemu sem notuð voru fyrir mismunandi uppsetningar og útgáfur af AR-WRF líkaninu.

Reikniskjema	V3.0.1 af AR-WRF	V3.1.1 af AR-WRF		
microphysics	Thompson graupel	WSM 3-class simple ice		
cumulus	Betts-Miller-Janjic	Kain-Fritsch		
planetary boundary layer	2EQ Bao scheme	YSU		
LW radiation	RRTM	САМ		
SW radiation	Dudhia	САМ		
surface physics	NOAH LSM	Thermal diffusion		
surface layer physics	Monin-Obukhov	Monin-Obukhov		

Tafla 2: Yfirlit yfir helstu reikniskjemu sem notuð voru fyrir mismunandi líkanuppsetningar og útgáfur.

Munurinn á líkanuppsetningum milli V3.0.1 og V3.1.1 helgast fyrst of fremst af reiknihraða og nákvæmni. Uppsetningin fyrir niðurkvörðun á gögnum frá Evrópsku reiknimiðstöðinni miðaðist við að fá sem nákvæmastar reikniniðurstöður sem myndu líkja sem best eftir raunverulegu veðri síðustu áratuga. Niðurkvörðun á framtíðarsviðsmynd er hins vegar háð öðrum og stærri óvissuþáttum en þeim sem koma fram vegna ákveðinnar uppsetningar á líkaninu. Var því valin uppsetning sem væri léttari í reikningum og vitað var að væri reiknilega stöðug (upplýsingar frá Ulla Heikkila við Bjerknes Center í Bergen). Til að gæta samræmis milli stýrikeyrslu og framtíðarsviðsmyndar var sama líkanuppsetning notuð við niðurkvörðun stýrikeyrslunnar.

#### Miðlun reiknigagna og úrvinnsla

Reiknistofa í veðurfræði hefur nýlega fest kaup á öflugri gagnavél og er verið að flytja gögn frá Noregi yfir á hana. Nú þegar er hægt að nálgast líkanniðurstöður í gegnum vefslóðina <u>http://rav.riv.is</u>, athugið að enn er þó takmarkað magn af gögnum aðgengilegt. Ennfremur á eftir að ganga endanlega frá uppsetningu skráarsvæða. Loks má nálgast hluta reikniniðurstaða á ftp þjóni Reiknistofunnar: <u>ftp://metphys.org/pub/LOKS</u>.

Úrvinnsla gagna er þegar hafin, sjá til að mynda umfjöllun í fylgiskjali 1 sem og í Minnisblaði frá 1. nóvember 2010 (fylgiskjal 3). Frumniðurstöður niðurkvörðunar á framtíðarsviðsmynd voru ennfremur kynntar í fyrirlestri Haraldar Ólafssonar á 90 ára afmæliráðstefnu Veðurstofu Íslands, sem haldin var í desember síðastliðnum (H. Ólafsson, 2010).

### Niðurlag

Aflrænni niðurkvörðun veðurs er lokið, eins og henni er lýst í verklýsingu LOKS verkefnisins, og verið er að flytja gögn til Íslands til frekari úrvinnslu. Búið er að tryggja diskapláss fyrir gögnin og hanna opið aðgengi að reikniniðurstöðum sem og aðferðir til að einfalda og létta úrvinnslu þessa gríðarlega gagnamagns.

### Heimildir

Nakicenovic, N., J. Alcamo, G. Davis, B. de Vries, J. Fenhann, S. Gaffin, K. Gregory, A. Grübler, T. Y. Jung, T. Kram, E. L. La Rovere, L. Michaelis, S. Mori, T. Morita, W. Pepper, H. Pitcher, L. Price, K. Raihi, A. Roehrl, H.-H. Rogner, A. Sankovski, M. Schlesinger, P. Shukla, S. Smith, R. Swart, S. van Rooijen, N. Victor, Z. Dadi, 2000: *IPCC Special Report on Emissions Scenarios*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp.

[2] Uppala S. M. et al., 2005: *The ERA-40 re-analysis*. Quart. J. R. Meteorol. Soc., 131, 2961-3012. doi:10.1256/qj.04.176.

[3] Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang, og J. G. Powers, 2005: *A description of the Advanced Research WRF version 2*. Tech. Rep. NCAR/TN-468+STR, National Center for Atmospheric Research, 88 pp.

[4] *Loftslagsreikningar fyrir Ísland og hin Norðurlöndin*, fyrirlestur Haraldar Ólafssonar, haldinn á 90 ára afmælisfundi Veðurstofu Íslands, 14. desember 2010. Fyrirlesturinn er aðgengilegur á vefnum:

ftp://metphys.org/pub/CES/vedurstofuafmaeli-des2010-HO.ppt.

### Fylgiskjöl

[1] Ó. Rögnvaldsson, H. Ágústsson og H. Ólafsson. *Dynamic downscaling.* Greinargerð um aflræna niðurkvörðun, unnin fyrir veðurfarshóp CES verkefnisins, október 2010.

[2] Ó. Rögnvaldsson og H. Ágústsson. *Status report for the dynamical downscaling part of the CES project.* Útgáfufélagið Slemba. Rit Reiknistofu í veðurfræði, nóvember 2009.

[3] Minnisblað um LOKS/CES verkefnið, 1. nóvember 2010.

Ólafur Rögnvaldsson (IMR and UiB), Hálfdán Ágústsson (IMR and UI), and Haraldur Ólafsson (UiB and UI)

IMR – Institute for Meteorological Research, UiB – University of Bergen, UI – University of Iceland

# Dynamic downscaling of precipitation

In order to assess the impact of horizontal resolution on stratiform precipitation, the atmosphere has been simulated for selected areas at different resolutions (Fig. 1). The simulations are carried out with the WRF model (Skamarock et al., 2008) with microphysics parameterized by the WSM3 scheme (Hong et al., 2004). The outermost domain is very large (400x200 grid-points) with a horizontal resolution of 27 km. There is one-way nesting to a 9 km domain (202x202 gridpoints) covering Southern Scandinavia and parts of Finland (cf. Fig. 1b). Within the 9 km domain, there are four domains (one-way nesting) with a 3 km horizontal resolution (cf. Fig. 1c). The 3 km domains are as follows: W-Norway: 70x70 points (44.100 km<sup>2</sup>), Central-Sweden: 142x142 points (181.500 km<sup>2</sup>), Denmark: 70x94 points (59.200 km<sup>2</sup>) and S-Finland: 55x70 points (34.650 km<sup>2</sup>). The simulations are forced by a global simulation by Arpege model (Déqué et al., 1994), run by the Bergen group (BCCR) on a T159c3 irregular grid. The simulated period is 1 September 2010 to 31 August 2011. The scenario chosen is the SRES A1B (Nakicenovic et al., 2000). Values of sea surface temperature (SST) are calculated as ERA40 (Uppala et al., 2005) SSTs plus smoothed SST anomalies from ECHAM5/MPI-OM, corrected for drift. Biases in the ice-edge are corrected to remove excessive ice cover in certain regions. The time varying forcing agents are varied, based upon observations. The varying forcing agents constitute of CO2, CH4, N2O, CFC11 (including other CFCs and HFCs), CFC12 and sulfate aerosols (Boucher data, only direct effect). Non-varying forcing agents include background aerosols such as black carbon, sea salt, desert dust, as well as stratospheric and tropospheric ozone, solar irradiance (1368  $W/m^2$ ) and the distribution of land cover types. No volcanic aerosols were included in the simulation.

For more technical details, see Rögnvaldsson and Ágústsson (2009) and references therein.

### Results and discussion

Figures 1 and 2 show the accumulated one-year precipitation, simulated at different horizontal resolutions and Figure 3 gives the maximum number of days per year when the grid-point precipitation, for each region and at various horizontal resolutions, exceeds different thresholds. In short, the highest horizontal resolution (3 km) gives the greatest precipitation and maximum number of extremes. However, the sensitivity of accumulated precipitation to

horizontal resolution is only moderate, except in the Norway region, where the 3 km domain gives about 50% greater precipitation than the 9 km domain. The large increase of precipitation in the mountainous regions of Norway is expected. This increase is related to direct forcing of ascending motion above the mountains that are not resolved at the coarse resolutions. The increase in precipitation over land is greater than indicated by Fig. 2, as approximately one fifth of the grid points of the Norwegian region are over sea, and as such not very sensitive to improved representation of the terrain. The precipitation extremes that appear at the fine resolutions (9 and particularly 3 km) are much more pronounced in Norway than elsewhere. This difference must be associated with strong winds and ascending motion over the mountains. In spite of mountains being present inside the Swedish domain, the total impact of increased resolution is much less in that region, than at the West coast of Norway. This difference is presumably related to the height and the spatial scale of the mountains. Mountains also cover a relatively larger part of the Norwegian domain, than the Swedish domain and this is reflected in the smaller sensitivity of the total precipitation in the Swedish domain to horizontal resolution presented in Fig. 2.

In spite of the land being relatively flat both in the Denmark and the Finland regions, simulated precipitation increases with resolution. The sensitivity in Denmark is very limited, but the signal is more clear in Finland. Figure 1 reveals that there is a precipitation maximum aligned with the coast of Southern Finland. This maximum becomes more pronounced when resolution is increased, indicating that increased resolution may enhance coastal convergence and that this effect may be important in climate context. A similar feature can be detected in the Denmark domain (Fig. 1), but the size of the Danish domain is such that this effect does not appear clearly in the accumulated precipitation in Fig. 2.



Figure 1. Accumulated stratiform precipitation simulated with the WRF model with boundaries from the Arpege T159c3 (SRES A1B) simulated by the Bergen group (BCCR). The simulated period is September 2020 to September 2021 with horizontal resolution a) 27 km, b) 9 km and c) 3 km.



Figure 2. Accumulated precipitation in the regions in Fig. 1 for different horizontal resolutions.



Figure 3. Number of days per year when the maximum grid-point precipitation exceeds the limits of a) 10 mm and b) 25 mm in the areas in Fig. 1. The values are divided by the number of gridpoints in each domain.

#### References

Déqué M, C. Revetment, A. Braun and D. Cariotta (1994) The ARPEGE/IFS atmosphere model: A contribution to the French community climate modeling. Clim. Dyn. Vol. 10, 249–266.

Hong, S. Y., Dudhia, J., and Chen, S. H.: A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation, Mon. Weather Rev., 132, 103–120, 2004.

Nakicenovic, N., J. Alcamo, G. Davis, B. de Vries, J. Fenhann, S. Gaffin, K. Gregory, A. Grübler, T. Y. Jung, T. Kram, E. L. La Rovere, L. Michaelis, S. Mori, T. Morita, W. Pepper, H. Pitcher, L. Price, K. Raihi, A. Roehrl, H.-H. Rogner, A. Sankovski, M. Schlesinger, P. Shukla, S. Smith, R. Swart, S. van Rooijen, N. Victor, Z. Dadi, 2000: IPCC Special Report on Emissions Scenarios, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp.

Rögnvaldsson, Ó and H. Ágústsson: Status report for the dynamical downscaling part of the CES Project. Slemba, Reykjavík, November 2009.

Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M. and coauthors. 2008. A description of the Advanced Research WRF version 3. NCAR Technical Note – 475+STR.

Uppala S. M. et al. (2005): The ERA-40 re-analysis. Quart. J. R. Meteorol. Soc., 131, 2961-3012. doi:10.1256/qj.04.176.

Útgáfufélagið Slemba

Rit Reiknistofu í veðurfræði

Ólafur Rögnvaldsson Hálfdán Ágústsson

# Status report for the dynamical downscaling part of the CES project

Reykjavík November 2009

# Introduction

Dynamical downscaling (DD) is a method for obtaining high resolution climate, or climate change, information from relatively coarse resolution global climate models (GCMs). Typically, GCMs have a resolution of 100-200 km by 100-200 km. Many impact-models require information at scales of 10 km or less, so some method is needed to estimate the smaller-scale information.

The idea behind dynamical downscaling is relatively simple. Take output from a coarse resolution model (e.g. a GCM) and use it to force a limited area model (LAM) at a higher horizontal and vertical resolution. As resolution is increased, processes governed by the interaction of the large scale flow and topography become better resolved by the models. One drawback of this approach, which is not present in global climate models, is that the simulations are dependent on the lateral boundary conditions. These can constrain the model dynamics and hence affect the results (e.g. WARNER et al., 1997). To minimize the constraining effects of the boundary conditions, QIAN et al. (2003) suggested consecutive short term integration, overlapping in time as to minimize the effects of spin-up, instead of a single long term integration. Other investigators (e.g. GIORGI and MEARNS, 1999) opt for longer integration times, emphasizing the importance of the model to be free to develop its own internal circulations.

It should be pointed out that state of the art LAM, such as the WRF model<sup>1</sup>, have the possibility of "nesting", i.e. one can create a relatively coarse outer domain and "nest" smaller domains, at a higher horizontal resolution, within this "mother of all domains" (MOAD). This approach can than be used to minimize the negative effects of coarse resolution boundary effects, granted that the MOAD is sufficiently large to allow the LAM to create it's own atmospheric flow.

# The project

The current project involves using the DD method to scale down a future climate scenario simulation, made by the Bjerknes Centre for Climate Research<sup>2</sup> (BCCR) in Bergen, Norway, for selected regions of the Nordic countries (shown in Fig. 1) for the 30 year period 2020 to 2050.

The modeling approach used in this experiment is that of GIORGI and MEARNS (1999), i.e. we opt for a very large MOAD and long simulation times (one year).

<sup>1 &</sup>lt;u>http://www.wrf-model.org</u>

<sup>2</sup> http://www.bjerknes.uib.no/



Figure 1: Domain setup for the dynamical downscaling of the Arpege simulation. The MOAD is 400×200 points, the 9 and 3 km domains covering Iceland are 94×91 and 196×148 points, respectively. The large 9 km domain covering Scandinavia and S-Finland is 202×202 points, the large 3 km domain over Sweden is 148×196 points and the remaining 3 km domains are 55×55 grid points each. The number of vertical levels is 41.

### The GCM simulation

The atmosphere model used by BCCR is the Arpege model (DéQUÉ et al., 1994), run on a T159c3 irregular grid. The scenario chosen is the SRES A1B (NAKIC´ENOVIC´ et al., 2000). Values of sea surface temperature (SST) are calculated as ERA40 (UPPALA et al., 2005) SST's plus smoothed SST anomalies from ECHAM5/MPI-OM corrected for drift. Biases in the ice-edge is corrected to remove excessive ice cover in certain regions. The time varying forcing agents were varied based upon observations. The varying forcing agents constituted of CO2, CH4, N2O, CFC11 (including other CFC's and HFC's), CFC12 and sulfate aerosols (Boucher data, only direct effect). Non-varying forcing agents included background aerosols such as black carbon, sea salt, desert dust, as well as stratospheric and tropospheric ozone, solar irradiance (1368 W/m2) and the distribution of land cover types. No volcanic aerosols were included in the simulation.

Prior to being pre-processed be the WRF model the Arpege data were regridded to a regular  $1.125^{\circ} \times 1.125^{\circ}$  grid. The reason for this relatively coarse resolution was to prevent the creation of spurious high frequency noise by the regridding process in areas far from the high resolution part of the original Arpege simulation.

### Pre-processing of the Arpege data

In order to be able to use the Arpege simulations as input to the WRF model the data needed to be pre-processed. In particular, the Arpege data files needed to be converted from their native netCDF format to the WRF systems intermediate

format. Once on that format, the Arpege data could be ingested by WRF preprocessing system. For this step of the process we were able to take some advantage of software that has been developed at BCCR. The BCCR conversion code is threefold:

- Interpolate the Arpege data to a regular 1.125°×1.125° grid
- Reduce the resulting global data set into the required "area-of-interest" domain
- Extract the necessary variables and write them to the WRF intermediate format

### The LAM simulation

Once the Arpege data has been converted to the intermediate format, by the BCCR code, one can start making use of the default WRF pre-processing software



Figure 2: Schematics of the WRF pre-processing system. Instead of using the ungrib option, we use the code developed at BCCR in order to create the necessary intermediate format files.

(cf. Fig. 2). The intermediate files are ingested by the metgrid program that interpolates the meteorological data horizontally to the model domains (cf. Fig. 1). The resulting met\_em\_d0? files are than processed by the real program to create initial and boundary data for the WRF atmospheric model.

However, the process turned out to be more complex and less well behaved than hoped for. It turned out that the real program created sea-ice in regions where no sea-ice should exist (cf. Fig. 3). The reason for this behavior took some time to emerge. Apparently the variables SST and SKINTEMP (used by WRF) were not default output fields from Arpege. Instead the variable "surface soil temperature" was used to represent the SST/SKINTEMP variables. This caused irregularities in sea surface temperature values in coastal areas and in areas were the Arpege Land/Sea mask was considerably different from the higher resolution WRF Land/Sea mask (cf. Fig. 4). These irregularities finally lead to the WRF model to "blow" after few weeks of simulation time.



Figure 3: Sea-ice distribution (red) for the 27 km domain (top). Notice the spurious seaice formations in regions like off the coast of SE-Iceland, coastal areas of Great Britain and Ireland and the Mediterranean as well as inland Scandinavia. Bottom part shows the model orography, the color scale is in meters.

In order to solve this problem we duplicated the Arpege data file containing the "surface soil temperature" variable to another file named "sst". This new SST variable was than "masked", i.e. values that occurred over land were given a default value of 32766.0 (cf. Fig. 5). The BCCR code was than modified in order to handle this "new" variable. Having created a "true" SST field (i.e. one that has unidentified, or default, values over land points) the idea was to use the metgrid

and real programs to correctly handle surface temperature values, over land as well as over sea. We have had some success in this regard but at present the metgrid code is still producing faulty input data, leading to unstable simulations.



Figure 4: Values of SST for the 9 km domain covering Scandinavia, color scale is in degrees Kelvin. Notice the sharp temperature gradients (yellow) along the coast of Norway and the very cold areas (light green and blue) south of Norway and within the Baltic sea.



CONTOUR FROM 215 TO 305 BY 5

# 200100 SKINTEMP



CONTOUR FROM 232 TO 300 BY 4

# 200100 SST

*Figure 5: Map showing the SKINTEMP (top) and the "new" SST (bottom) isolines. Notice how the SST isolines are undefined over land areas.* 

### Current status

A one month period, January 2020, has been simulated on the grid shown in Fig. 1, with the exeptions of the 3 km domains in Scandinavia and S-Finland. The simulation results on the four domains have a plausible structure and there are no signs of spurious, or out of control, wave formations. Figure 6 shows the perturbation pressure at two different timesteps for the large 27 km MOAD domain. The top part shows a complex low pressure system that has formed south of Greenland and the lower part a typical bi-polar system, low pressure south of Greenland and a high pressure system over Great Britain.



*Figure 6: Perturbation pressure [Pa] (color scale) for 2020-01-11\_06 (top) and 2020-01-19\_18 (bottom).* 

The precipitation field also looks realistic, Fig. 7 shows the accumulated one month preciptation for Iceland (3 km grid), both convective and explicitly resolved precipitation.



Figure 7: Accumulated convective (left) and explicitly resolved (right) precipitation [mm] for January 2020. Note the different color scales for the precipitation amounts. The effects of the incorrect SST mask can clearly be seen in the cumulus precipitation field of the south coast of Iceland.

Figure 8 shows the same results as Fig. 7 but for Scandinavia (9 km resolution).



*Figure 8: Accumulated convective (left) and explicitly resolved (right) precipitation [mm] for January 2020. Note the different color scales for the precipitation amounts.* 

Figure 9 shows the timeseries of two meter temperature at 27 and 3 km resolutions for Reykjavík, SW-Iceland.



*Figure 9: Two meter temperature time series at location Reykjavík, SW-Iceland at 27 (top) and 3 (bottom) km resolution. Simulation results are written to a file every six hours. Hence, twenty time steps represent five days.* 

### Next steps

In order to overcome the numerical instability the WRF model is experiencing at the 3 km resolution domains in Scandinavia and S-Finland, we need to be able to mask the SST field correctly. We are currently seeking advice from within the WRF user community and hope to have the matter resolved soon.

If we still experience numerical instability, we might have to resolve to shorter integration periods, weeks/months instead of a year. This would however not be an optimal solution, rather a solution of last resort.

## Acknowledgements

This work would not have been possible without the generous help of Michel dos Santos Mesquita, who wrote the BCCR pre-processing code, and Ulla Heikkila, both at BCCR. Useful tips and tricks regarding the Arpege data and the clusters Fimm and Hexagon were received with gratitude from Idar Barstad and Frode Flatøy at UiB and BCCR, respectively.

### References

Déqué M, C. Revetment, A. Braun and D. Cariotta (1994) The ARPEGE/IFS atmosphere model: A contribution to the French community climate modeling. *Clim. Dyn.* Vol. **10**, 249–266.

GIORGI, F., L. O. MEARNS, 1999: Introduction to special section: Regional climate modeling revisited. *J. Geophys. Res.* **104**, No. D6, 6335-6352.

Nakic ENOVIC , N., J. ALCAMO, G. DAVIS, B. de VRIES, J. FENHANN, S. GAFFIN, K. GREGORY, A. GRÜBLER, T. Y. JUNG, T. KRAM, E. L. LA ROVERE, L. MICHAELIS, S. MORI, T. MORITA, W. PEPPER, H. PITCHER, L. PRICE, K. RAIHI, A. ROEHRL, H.-H. ROGNER, A. SANKOVSKI, M. SCHLESINGER, P. SHUKLA, S. SMITH, R. SWART, S. VAN ROOIJEN, N. VICTOR, Z. DADI, 2000: IPCC Special Report on Emissions Scenarios, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp.

QIAN, J.-H., A. SETH, S. ZEBIAK, 2003: Reinitialized versus Continuous Simulations for regional Climate Downscaling. *Mon. Wea. Rev.* **131**, 2857-2874.

Uppala S. M. et al. (2005): The ERA-40 re-analysis. Quart. J. R. Meteorol. Soc., 131, 2961-3012. doi:10.1256/qj.04.176.

WARNER, T. T., R. A. PETERSON, R. E. TREADON, 1997: A Tutorial on Lateral Boundary Conditions as a Basic and Potentially Serious Limitation to Regional Numerical Weather Prediction. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* **78**, No. 11, 2599-2617.

### LOKS/CES

### Verkþættir

- Reikningar í þéttu neti. Veður áranna 1958-2009 verður reiknað í 27 og 9 km neti fyrir allt landið og fyrir skemmra tímabil á 3 km neti ("vatnsárin" 1994-2009). Ennfremur verða valin svæði reiknuð á 1 km neti fyrir skemmri tímabil.
- Niðurkvörðun stýrikeyrslu. Tímabilið 1960-61 til 1989-90 úr stýrikeyrslu veðurfarslíkansins Arpege verður kvarðað niður á 27, 9 og 3km net (sjá mynd 1).
- 3. Niðurkvörðun á valinni sviðsmynd. Tímabilið 2020-21 til 2050-51 úr Arpege verður kvarðað niður á 27, 9 og 3km net, sjá mynd 1.
- 4. Úrvinnsla og túlkun svæðisbundinna veðurfarssviðsmynda. Reikniniðurstöður fyrir vind, hita og úrkomu úr liðum 1 til 3 verða bornar saman fyrir afmörkuð tímabil og svæði. Fyrir úrkomu verður um að ræða samanburð á reiknaðri úrkomu í 1km reiknineti við mælda úrkomu fyrir Þjórsár- Tungnaársvæðið yfir sjö ára tímabil (2002-03 til og með 2008-09). Úrkoma verður borin saman við mælda úrkomu, bæði punktgildi og ákomugögn af Hofsjökli og Langjökli, sem og við úrkomu reiknaða með reitskiptu LT líkani Veðurstofunnar.

Reiknuð úrkoma í 27 og 9km neti verður borin saman við fyrirliggjandi mælingar, bæði punktgildi og ákomumælingar af jöklum, eftir því sem slík gögn eru aðgengileg, sem og sambærilegt tímabil úr stýrikeyrslu (1960-61 til og með 1989-90). Reiknuð úrkoma í framtíðarveðurfari verður borin saman við báðar þessar keyrslur og mat lagt á breytingar. Að sama skapi verður reiknaður hiti og vindhraði í einstaka reiknimöskvum fyrir 27 og 9km keyrslur borinn saman við mælingar og stýrikeyrslu og mat lagt á breytingar í framtíðarveðurfari. Loks verður reiknaður hiti á 3km neti úr stýrikeyrslu borinn saman við mældan, netsettan, hita fyrir tímabilið 1960-61 til 1989-90. Reiknaður hiti og vindur úr 3km reiknineti, fyrir tímabilið 1994-95 til og með 2008-09, verður borinn saman við mæld punktgildi eftir því sem mæligögn leyfa.

Notast verður við netsett gögn að því marki sem þau eru til. Miðað er við framtíðarveðurfar áranna 2020-21 til 2050-51 og 1960-61 til 1989-90 til samanburðar (stýritímabil). Við túlkun reikninganna verður lögð sérstök áhersla á hugsanlegar staðbundnar breytingar sem ekki koma fram í gisnu reiknineti, þar á meðal breytingar á hlutfalli úrkomu í fjalllendi og úrkomu á láglendi.

Leitast verður við að fá niðurstöður birtar í ritrýndum tímaritum.

5. Svæðisbundnar veðurfarssviðsmyndir. Greining á veðurfari á Íslandi í svæðisbundnum veðurfarssviðsmyndum (Prudence/Esembles), m.a. með reiknivænni niðurkvörðun (LT líkan). Unnið af Veðurstofu Íslands (VÍ) í samvinnu við HÍ. Í tengslum við þennan lið verður leitast við að greina náttúrulegar sveiflur á staðbundnu veðurfari, einkum úrkomu.



Mynd 1: Uppsetning reiknisvæða fyrir niðurkvörðun framtíðarsviðsmynda í LOKS/CES verkefnunum.

Liðir 1-4 verða unnir af RV í samvinnu við HÍ, VÍ og UiB, en vænta má framlags UiB í formi aðstöðu og vinnu. Liður 5 er fjármagnaður og unninn af VÍ.

Liðir 1-2: 1.810 vinnustundir (með 20% eiginframlagi : 1448 + 362 / 8.3 + 2 mm) Liður 3: 1.170 vinnustundir (með 14% eiginframlagi  $\rightarrow$  CES : 1006 + 164 / 5.75 + 0.9 mm)

Liður 4: 552 vinnustundir (með 20% eiginframlagi : 442 + 110 / 2.5 + 0.6 mm) Liður 5: 1.000 vinnustundir (VÍ)

Tímaáætlun verkliða 1 til 4

### 2008

Niðurkvörðun á eldra veðri með WRF veðurlíkaninu hefst.

### 2009

Unnið verður að aðlögun WRF líkansins að reiknigögnum (framtíðarsviðsmyndum) frá Bjerknes miðstöðinni í Bergen. Val á ytri keyrslu fyrir sviðsmyndir til niðurkvörðunar. Niðurkvörðun á eldra veðri með WRF veðurlíkaninu heldur áfram.

### 2010

Niðurkvörðun á framtíðarveðurfari verður lokið á öðrum ársfjórðungi. Niðurkvörðun á eldra veðri verður lokið á fjórða ársfjórðungi ásamt niðurkvörðun á stýrikeyrslu framtíðarveðurfars. Endurreikningum á framtíðarveðurfari fyrir Ísland lokið á fjórða ársfjórðungi.

Áfangaskýrsla um hermireikninga rituð á fjórða ársfjórðungi.

### 2011

Frágangur gagna, skrif lokaskýrslu og greina til birtingar í ritrýnd tímarit; unnið á

fyrsta til fjórða ársfjórðungi.

### Staða mála 1. nóvember 2010

### CES - Niðurkvörðun á valinni sviðsmynd:

Búið er að keyra tímabilið 2020-09-01 til og með 2051-09-01 fyrir öll svæði sýnd á mynd 1. Búið að er eftirvinna 3km svæðin fyrir Skandinavíu (gera CF-compliant) og afrita yfir til DMI. Ole Bøssing hjá DMI hefur svo eftirunnið gögnin frekar svo þau passi inn í ENSEMBLE strúktúrinn. Eftirvinnsla á 3km svæði fyrir Ísland er lokið, þ.e. gera CF-compliant. Hafa þau gögn verið vistuð á ftp svæði RV, þar eð DMI treysti sér ekki til að halda þeim til haga.

Því miður hefur öllum 27 og 9km gögnum verið eytt af Hexagon og þarf að reikna þau aftur. Búið er að endurþýða WRF líkanið þ.a. nú er hægt að stýra magni útlagsgagna betur. Þetta leiðir af sér að gagnamagn verður mun minna, léttir það bæði og einfaldar eftirvinnslu.

#### LOKS - Reikningar í þéttu neti:

Búið er að keyra tímabilið 1957-09-01 til 2009-09-01 á 27 og 9km reikninetum. Tímabilið 1994-09-01 til 2009-09-01 hefur verið reiknað á 3km reiknineti. Ennfremur er búið að reikna 2002-09-01 til 2005-09-01 með 1km neti fyrir Þjórsár-Tungnaársvæðið (stærð svæðis er 200x200 km).

Verið er að endurreikna 1km svæðið fyrir tímabilið 2005-09-01 til 2009-09-01. Þessir reikningar eru mjög þungir, en það tekur um sex vikur að reikna hvert ár. Gert er ráð fyrir að reikniniðurstöður liggi fyrir um eða upp úr miðjum desember.

Verið er að endurreikna tímabilið 2020-21 til og með 2050-51 á 27, 9 og 3km reiknineti. Þær keyrslur ættu að vera tilbúnar um miðjan nóvember. Undirbúningur er hafinn að reikningum á stýritímabili (1960-09-01 til 1990-09-01). Gert er ráð fyrir að þeim reikningum verði lokið um mánaðarmótin nóvember-desember.

### LOKS - Úrvinnsla og frágangur gagna:

Aðferðir til að meðhöndla og eftirvinna reiknigögn eru í stöðugri þróun, sem og þróun á hugbúnaði til að bera gögn saman við mælingar á skjótan og þægilegan máta. Sem dæmi má nefna hugbúnað til að varpa útlagsgögnum WRF veðurlíkansins yfir á svokallað "CF-compliant" form (þ.e. "Climate and Forecasting compliant"), en með því móti má meðhöndla gögnin með hefðbundnum GIS tólum. Hugbúnað til að gera reiknaðar gagnaseríur samfelldar í tíma, þ.e. hreinsa út gögn sem skarast, og skrifa út valdar breytur í minni og meðfærilegri gagnaskrár. Hugbúnað til að velja breytur úr stökum, eða strjálum, reiknimöskvum og vista á CSV formati sem hefðbundnir töflureiknar ráða við. Ennfremur er stöðug þróun í teiknirútínum ýmiskonar.

Ýmis kort og gagnaskrár má finna á netinu þótt hinn eiginlegi gagnagrunnur sé ekki enn tilbúinn. Má þar nefna kort af meðalvindhraða hvers mánaðar fyrir tímabilið 1995-2008 (<u>http://www.betravedur.is/halfdan/RAV/MeanMonthlyWinds/</u>), og kort sem sýna uppsafnaðan vetrarsnjó fyrir Öxnadalsheiði fyrir sama tímabil (<u>http://www.betravedur.is/halfdan/CloudIcing\_Landsnet/</u>).

Tafla yfir reitskipt mæli- og reiknigögn:

Nafn	Uppruni innlagsg agna	Tímabil	Net	Fjöldi punkta í reiknisvæði	Líkan	Athugasemd ir
E-WRF27	ERA40 og ECMWF op.analys	Sep 1957 til Sep 2009	27 km	43x42x55(z)	WRF - V3.0.1	Lokið, gögn enn á Hexagon
E-WRF9	ERA40 og ECMWF op.analys	Sep 1957 til Sep 2009	9 km	95x90x55(z)	WRF - V3.0.1	Lokið, er að flytja gögn til IS. 1994-2002 aðgengilegt, 2002-03 og 2003-05 á diskum
E-WRF3	ERA40 og ECMWF op.analys	Sep 1994 til Sep 2009	3 km	196x148x55(z)	WRF - V3.0.1	Lokið, gögn á Íslandi
E-WRF1	ERA40, ECMWF op.analys	Sep 2002 til Sep 2005	1 km	202x202x55(z), Þjórsár- Tungnaársvæði ð	WRF - V3.0.1	Verið að endurreikna 2005 til 2009, önnur gögn á diskum
CtrArp27	ERA40/Ar pege	Sep 1960 til Sep 1990	27 km	350x180x41(z)	WRF - V3.1.1	Ekki byrjað að reikna
CtrArp9	ERA40/Ar pege	Sep 1960 til Sep 1990	9 km	94x91x41(z)	WRF - V3.1.1	Ekki byrjað að reikna
CtrArp3	ERA40/Ar pege	Sep 1960 til Sep 1990	3 km	196x148x41(z)	WRF - V3.1.1	Ekki byrjað að reikna
A1B1Arp27	Arpege	Sep 2020 til Sep 2051	27 km	350x180x41(z)	WRF - V3.1.1	Verið að endurkeyra
A1B1Arp9	Arpege	Sep 2020 til Sep 2051	9 km	94x91x41(z)	WRF - V3.1.1	Verið að endurkeyra
A1B1Arp3	Arpege	Sep 2020 til Sep 2051	3 km	196x148x41(z)	WRF - V3.1.1	Verið að endurkeyra
LtPrecCtr	ERA40	1961 til 1990	1 km	allt Ísland, úrkoma	LT líkan PC	Gögn á VÍ
obsT2Ctr	Mælingar VÍ	1961 til 1990	1 km	allt Ísland, hiti í 2m	Sigga Sif	Gögn á VÍ