

# Ülevaade mittehüdrostaatilisest HIRLAM-ist

## Annotatsioon

Oleme lõpule jõudnud mittehüdrostaatilise, poolilmutatud, pool-Lagrange'i integreerimisskeemi NHSISL väljaarendamisega HIRLAMile. Sellega on lõpule jõudnud kogu mittehüdrostaatiline tuuma-arendus HIRLAMile.

NHSISL on ka juba rakendatud EMHIs, kus teda katsetatakse reaalingimustes ilmaennustuse tegemisel.

Ettekande eesmärk on anda ülevaade mittehüdrostaatilisest laiendusest HIRLAMile rõhuasetusega integreerimisskeemi NHSISL tutvustusel: mida ta endast kujutab, mida võimaldab ja mis kasu on temast ilmaennustuses ning kliima modelleerimisel.

**Ülevaade mittehüdrostaatilisest  
HIRLAM-ist  
HETKESEIS ja PERSPEKTIIV**

Rein Rõõm

+

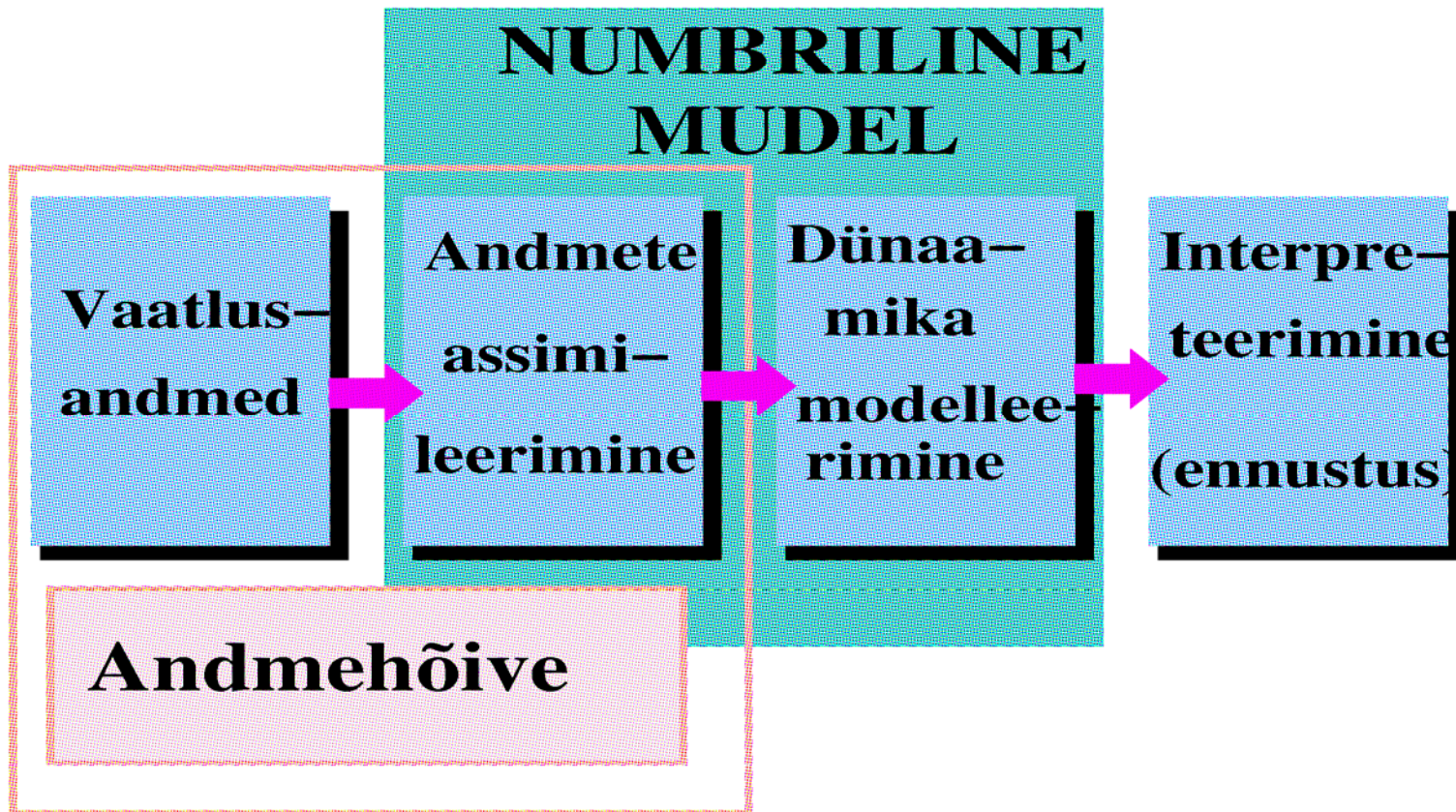
Aarne Männik, Andres Luhamaa

ja

Marko Kaasik

## SISSEJUHATUS

NUMBRILISE ILMAENNUSTUSMUDELI/KLIIMAMUDELI  
KOMPONENDID





# DÜNAAMIKA MODELLEERIMINE

*Rakusisesed protsessid*

*Adiabaatiline  
tuum*

*Füüsikaline  
parametriseerimine*

# KAUA TEHTUD KAUNIKENE

**NH SISL: Mittehüdrostaatiline, pool-ilmutatud, pool-Lagrange'i mudel/meetod atmosfääridünaamika võrrandite numbriliseks integreerimiseks**

- Mudelit NH SISL on arendatud nüüd ühtekokku 4 aastat
- Kui võtta puhas aeg kokku, siis on töömahuks olnud umbes 1.5 inimaastat
- Sellele oli võetud 3-aastane grant, aga arendus on jätkunud ka hiljem

# Millest olid raskused tingitud

- SISL skeemi ei ole võimalik vahetult Euleri skeemide jätkuna tuletada
- Varasemad HS SISL teoreetilised alused pudedalt ja segaselt esitatud

Näide:

$$A^t = 0 \rightarrow 2A^t = 0 \rightarrow A^t = -A^t \rightarrow$$

$$\frac{1}{2}A^{t-dt} + \frac{1}{2}A^{t+dt} = -A^t$$

- NH SISL kontseptsiooni areng: kokku arendatud 6 erinevat versiooni

# SISL-meetodi ajalugu

- Robert ~1980
- esimesed katsetused numbrilise ilmaennustuse (NWP) mudelitega 1985 – 87
- ECMWF võttis SISL kasutusele ~1995
- Hüdrostaatilises HIRLAMis võeti SISL kasutusele ~ 1998

# Miks on SISL nii vajalik?

- Suur numbriliste arvutuste efektiivsus (võrreldes Euleri skeemidega), mis väljendub
  - **Arvutuskiiruse kasvus**
  - **Oluliselt suurema ajasammus (näiteks ~ 10 sek → 1min )**
  - **Suuremate integreerimispiirkondade kättesaadavuses**
  - **Suuremates kättesaadavates lahutustes**
- Kõik need 'suuremad' näitajad on eriti vajalikud ilmaennustuses
- Arvutuslik efektiivsus tarvilik ka ülisuurtel lahutustel (võrgulahutus ca 1 km ja lühem), kus arvutusmahud dünaamika numbrilisel modelleerimisel on eriti suured



# Miks on mittehüdrostaatiline (NH) SISL vajalik?

- Vastus on kahetahuline :
  - NH on vajalik suurtel lahutustel dünaamika adekvaatseks modelleerimiseks
  - Meie NH mudel ('Tartu' mudel) ei ole ilma SISLita arvutuslikult konkurentsivõimeline

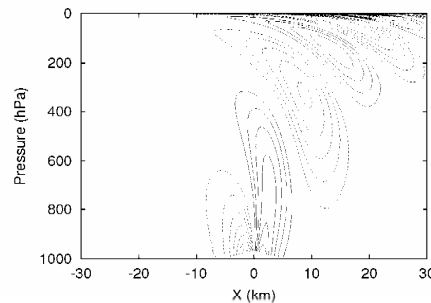
13 NONHYDROSTATIC EFFECTS

0-28

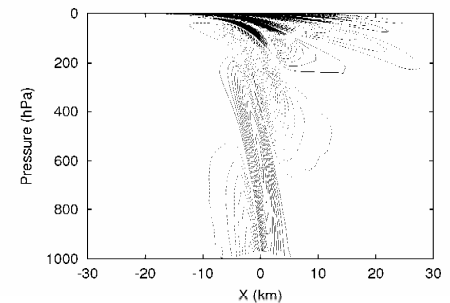
## 13 NONHYDROSTATIC EFFECTS

Question: At which resolution the NH effects become considerable?

At orographically forced flows this scale is approximately  $\Delta x \sim 5$  km (as the scale of the minimal resolved orography  $a \sim 2\Delta x \approx 10$  km)



NH model



HS model

Half-width=2.5 km, height = 250 m; Grid:114x100x60

# LAGRANGE'I VÕRRANDID

$$\frac{d\omega}{dt} = -\frac{p^2}{H^2} \frac{\partial \phi}{\partial p}$$

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = -\nabla(\phi + \varphi) - \mathbf{f} \times \mathbf{v}$$

$$c_p \frac{dT}{dt} = RT \frac{\omega}{p}$$

$$\frac{dp_s}{dt} = \omega \Big|_{p_s}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{v} + \frac{d\omega}{dp} = 0$$

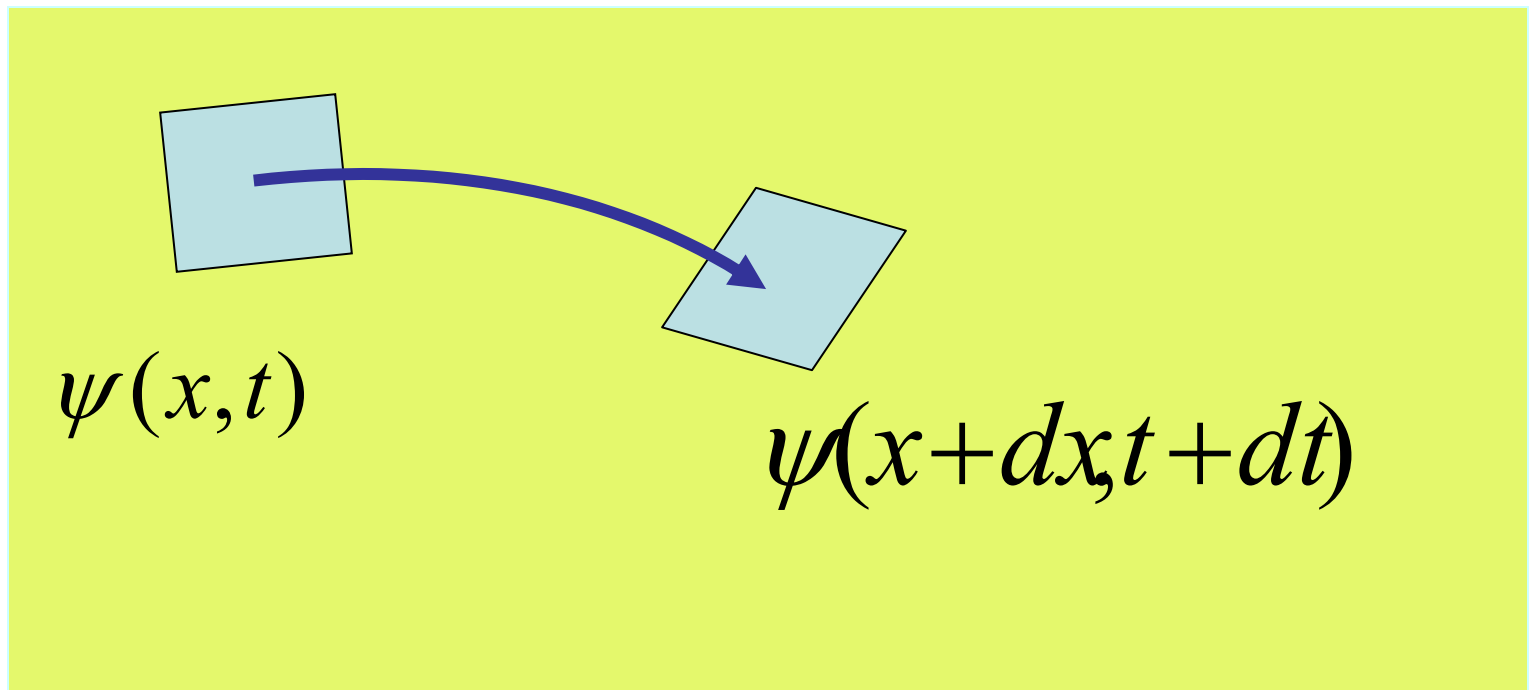
$$\frac{d\varphi}{dp} = -\frac{RT}{p}$$

$\mathbf{v}$  – tuulevektor,  $\omega$  – vertikaalne rõhukiirus,  $H=RT/g$  – skaalakõrgus,  $\phi$  – mittehüdrostaatiline geopotentsiaal,  $\varphi$  - hüdrostaatiline geopotentsiaal,  $R, C_p$  – gaaskonstandid,  $p$  – rõhk,  $p_s$  - aluspinnarõhk

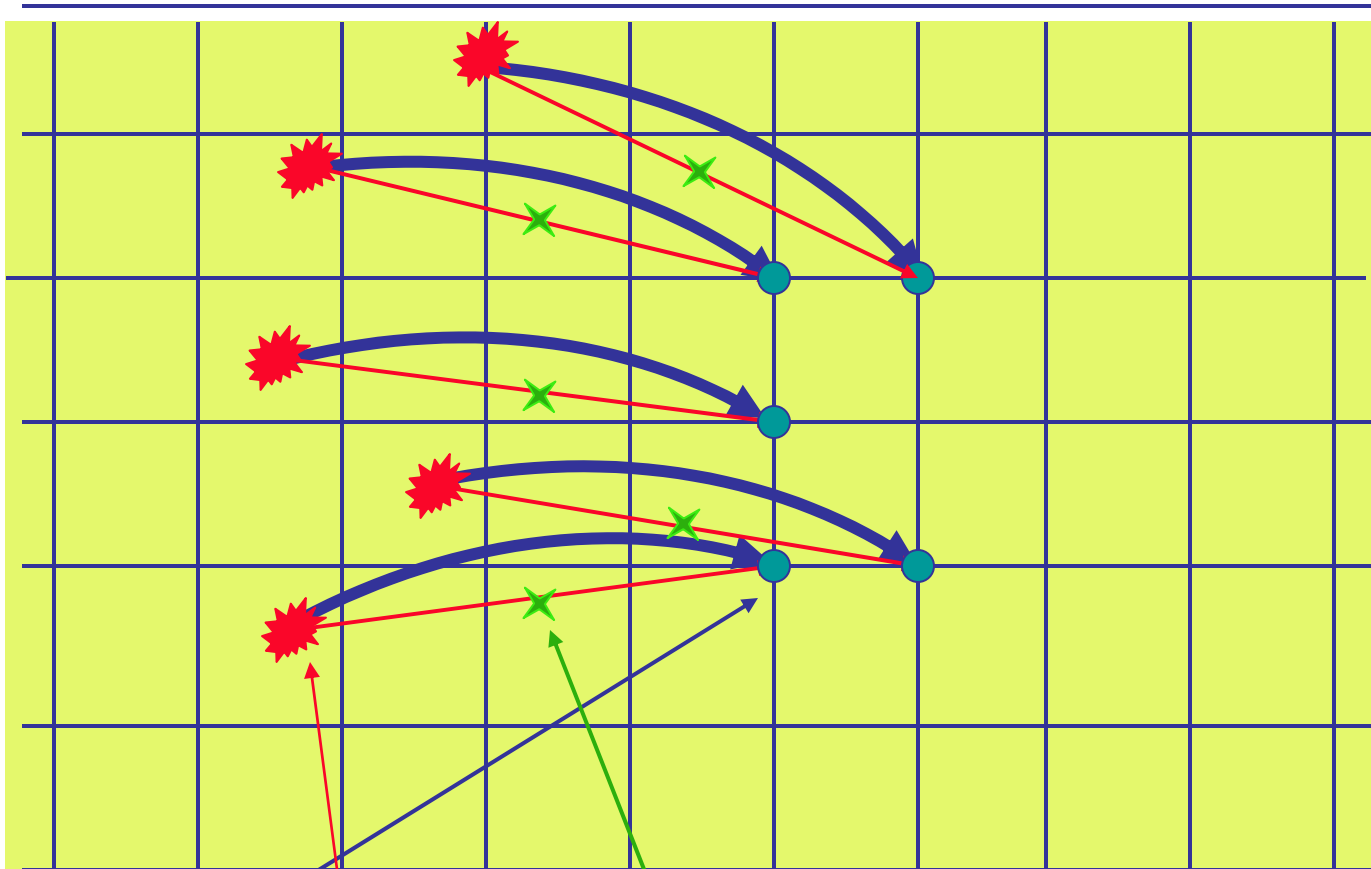
# Mis on pool-Lagrange'i skeem?

Üldine liikumisvõrrand Lagrange'i esituses:

$$\frac{d\psi}{dt} = F(\psi)$$



# Pool-Lagrange'i integreerimisskeem

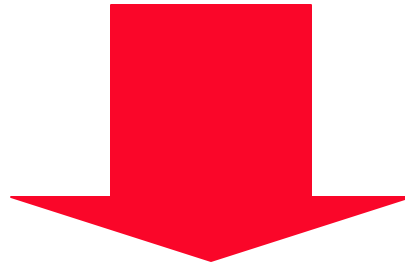


$$\frac{\psi(\bullet) - \psi(\star)}{\Delta t} = F[\psi(\times)]$$

$\psi(\bullet)$  leitakse võrgupunktis, lähte-väärtus  $\psi(\star)$  ja jõud  $F[\psi(\times)]$  interpoolitakse lähimatest võrgupunktidest

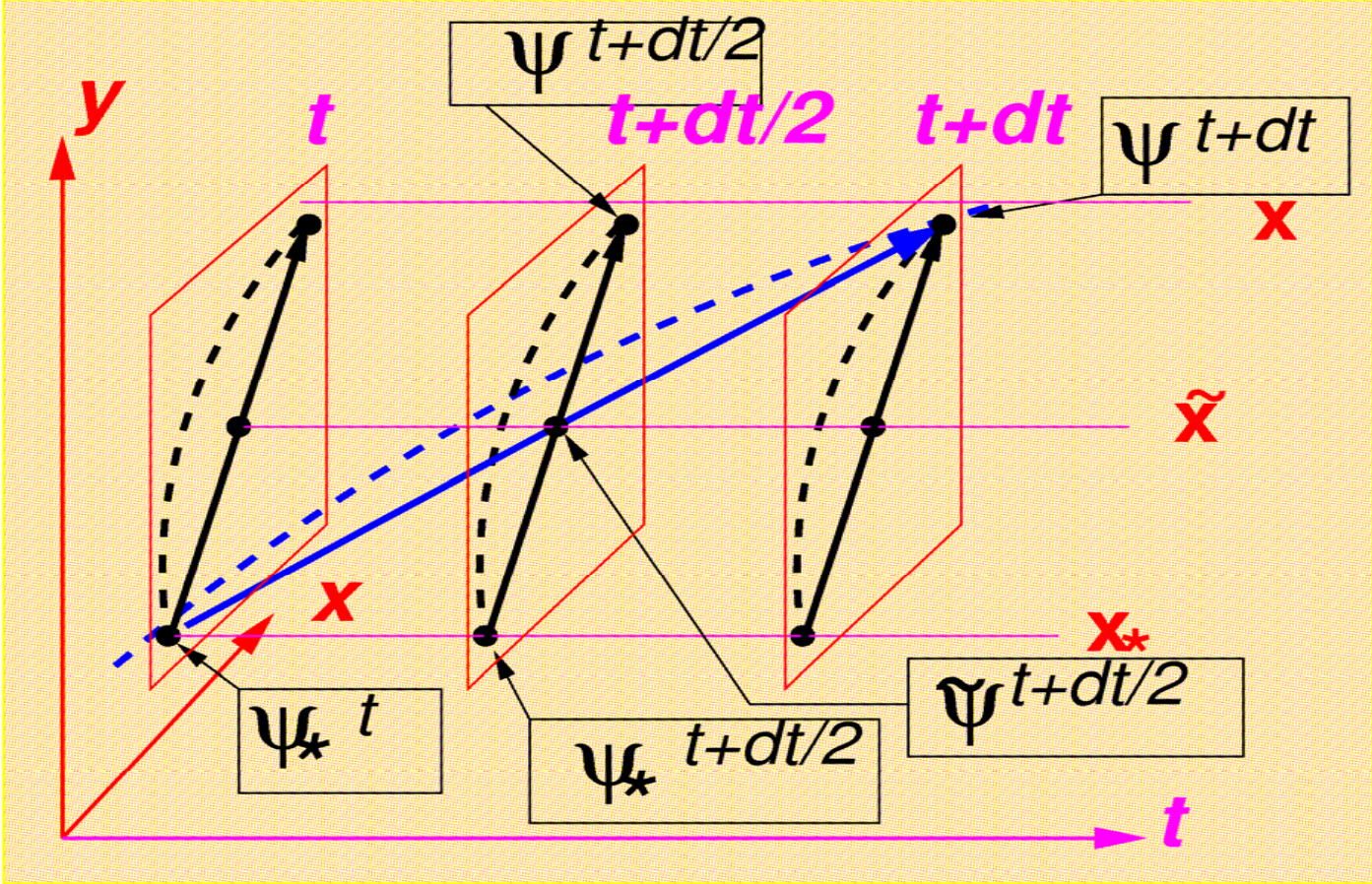
## Pool-ilmutatud (ilmutamata) skeem:

$$\frac{\psi(\bullet) - \psi(*)}{\Delta t} = F[\psi(\times)]$$



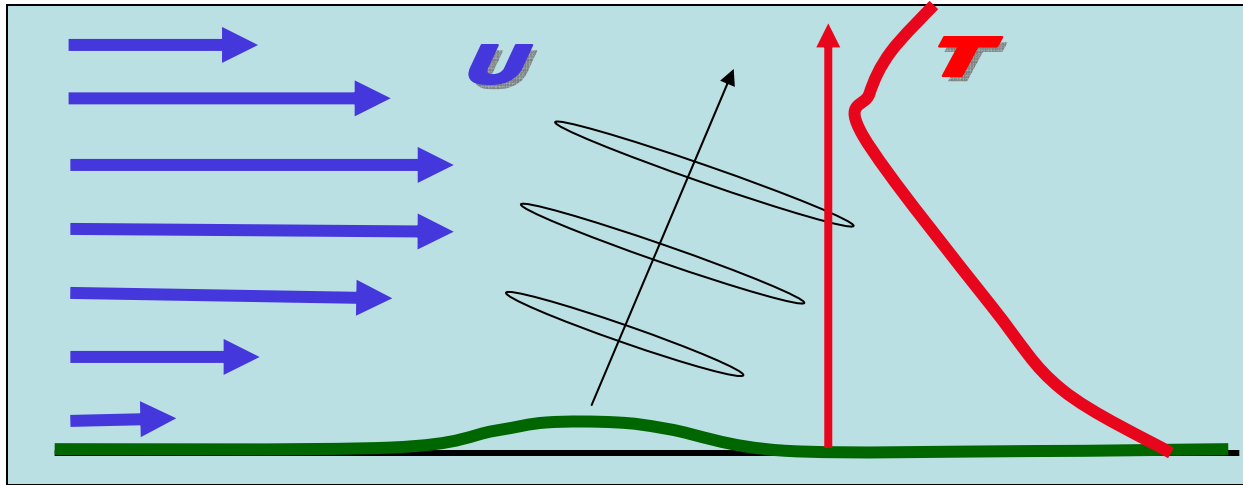
$$\frac{\psi(\bullet) - \psi(*)}{\Delta t} = \frac{1}{2} \{F[\psi(\bullet)] + F[\psi(*)]\}$$

Taas on vaja võrrand lahendada  $\psi(\bullet)$  suhtes, aga nüüd on see otsitav  $\psi(\bullet)$  ka paremal poolel





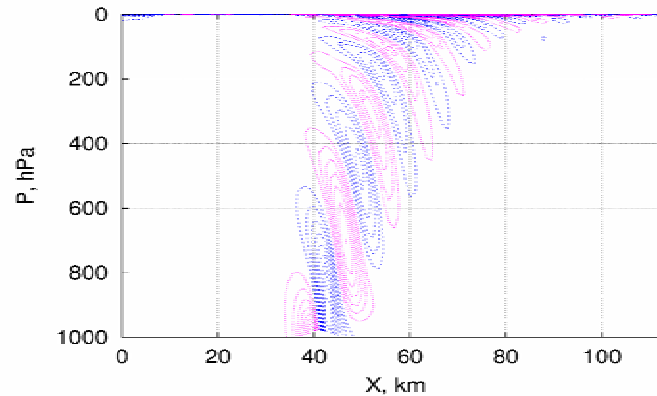
# TESTIMINE



0-20

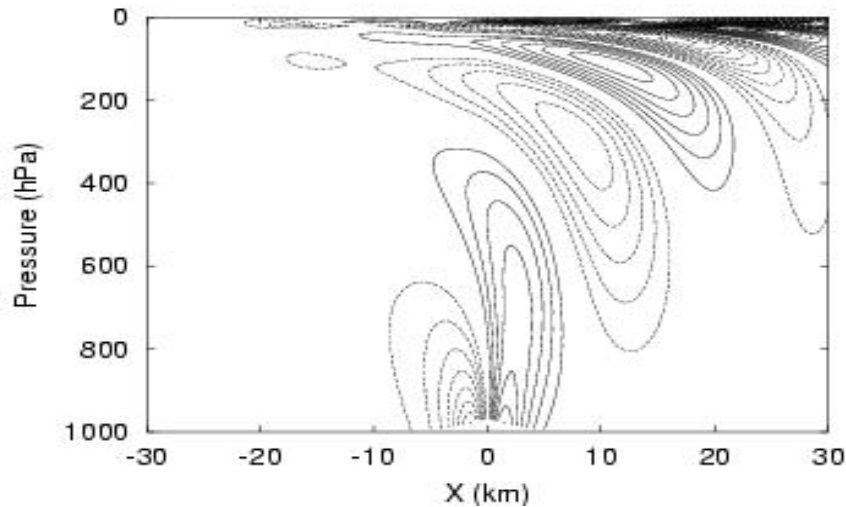
## 8 ARTIFICIAL TESTS

Stationary flow over circular hill. Vertical velocity distribution, contour interval 0.1 m/s.

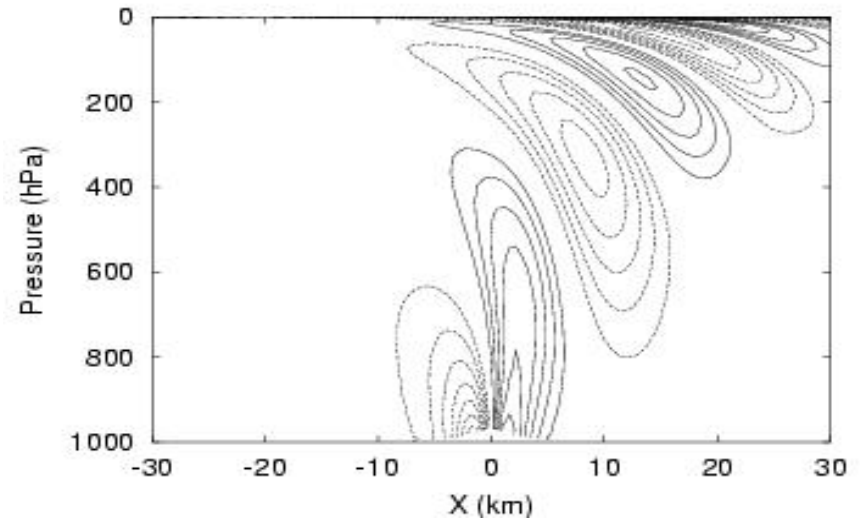


$\Delta x = \Delta y = 1\text{ km}$ ;  
Vertical resolution: 60 level  
ECMWF grid.  
 $a = 3\text{ km}$ ,  $h = 200\text{ m}$ ,  
 $N = 0.015\text{ 1/s}$ ,  
 $U = 20\text{ m/s}$ .

# LINEAARNE MUDEL- ABIVAHAEND NUMBRILISTE MUDELITE TESTIMISEKS



**Analytic**



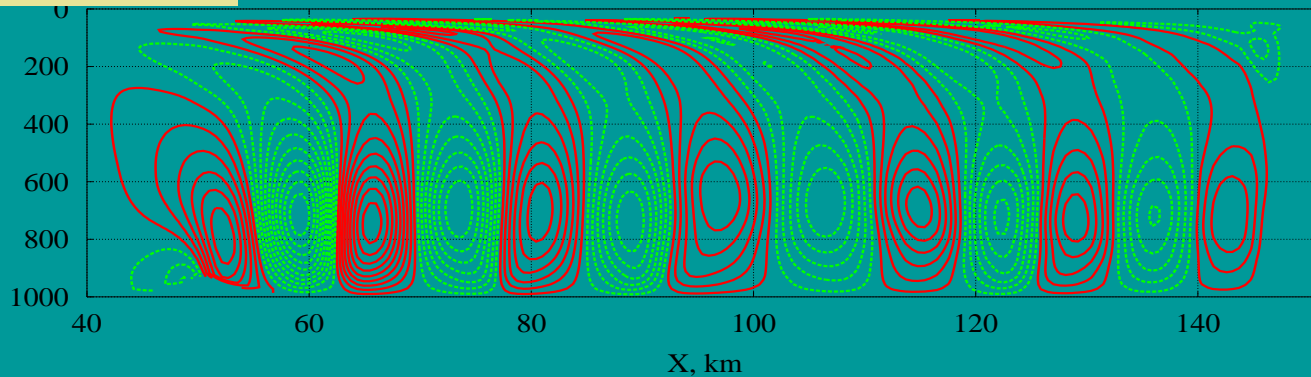
**NH HIRLAM**

Näide analüütilise pideva mudeli ja numbrilise mittehüdrostaatilise HIRLAMiga modelleeritud, ülemäevoolamisel tekkivate vertikaalkiiruste jaotusest atmosfääris.

# Voolamine üle isoleeritud mäe, $a_x = 3 \text{ km}$ , $h = 600 \text{ m}$

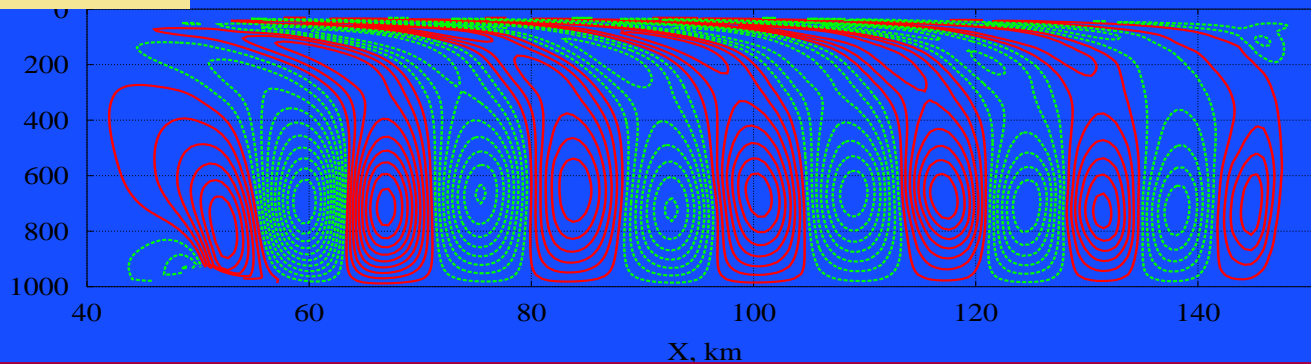
$dt = 15s$

$V_z$ , int. 0.5 m/s : MLEV=100, dx=.55km, dt=15s, 1200 steps



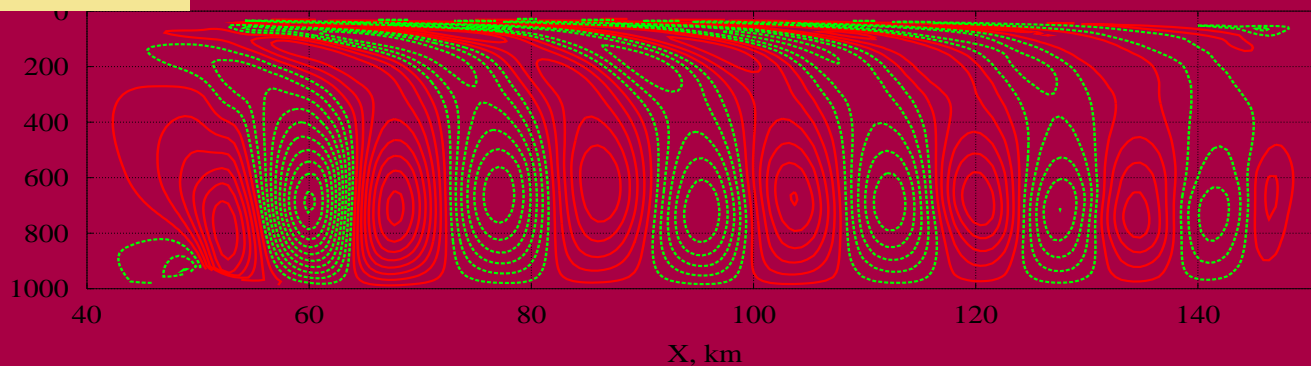
$dt = 30s$

$V_z$ , int. 0.5 m/s : MLEV=100, dx=.55km, dt=30s, 600 steps



$dt = 60s$

$V_z$ , int. 0.5 m/s : MLEV=100, dx=.55km, dt=60s, 300 steps



$$dt_{cr} = 13s$$

$dx = .55 \text{ km}$ ,

Horizontaalselt  
276x100 punkti,

100 taset

Integree-  
rimisaeg: 3 h

Kiirus ja  
temperatuur

**VÖRDLUS HS SISL HIRLAMIGA**  
**Norra eksperiment**

# Norwegian experiment

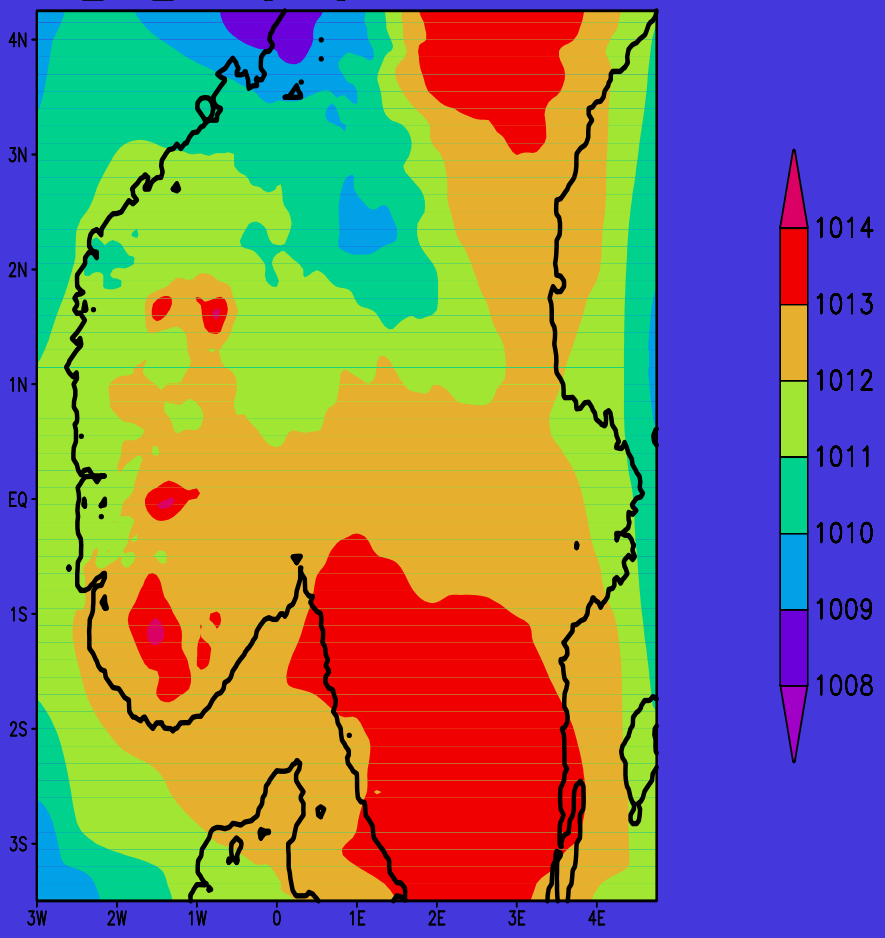
Resolution 5.5 km, time-step 4 min

MSL pressure 24 h forecast.

NH model gives ~1 mb larger MSL pressure on plane, ~1 mb lesser at mountain tops

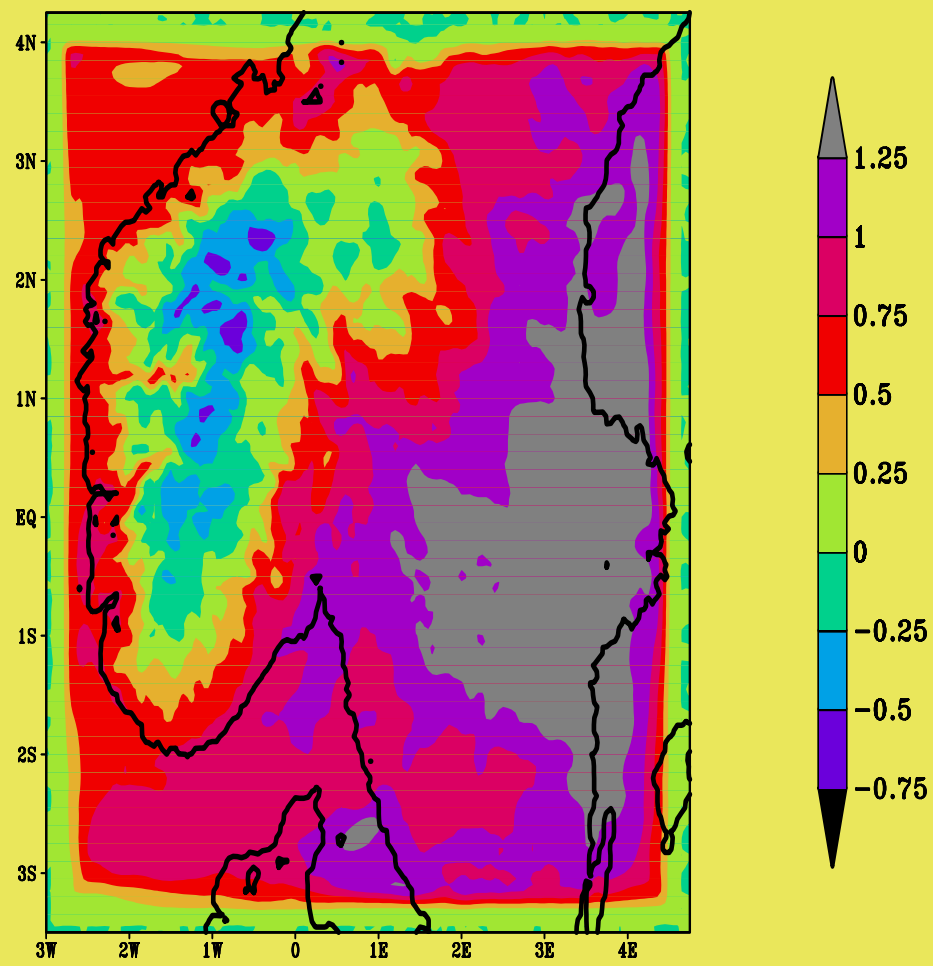
## NH SISL

$P_{nh\_msl}$  [mb], 2001.03.22.00+24



## NH - HS SISL

$P_{s\_nh} - P_{s\_hs}$  [mb], 2001.03.22.00+24



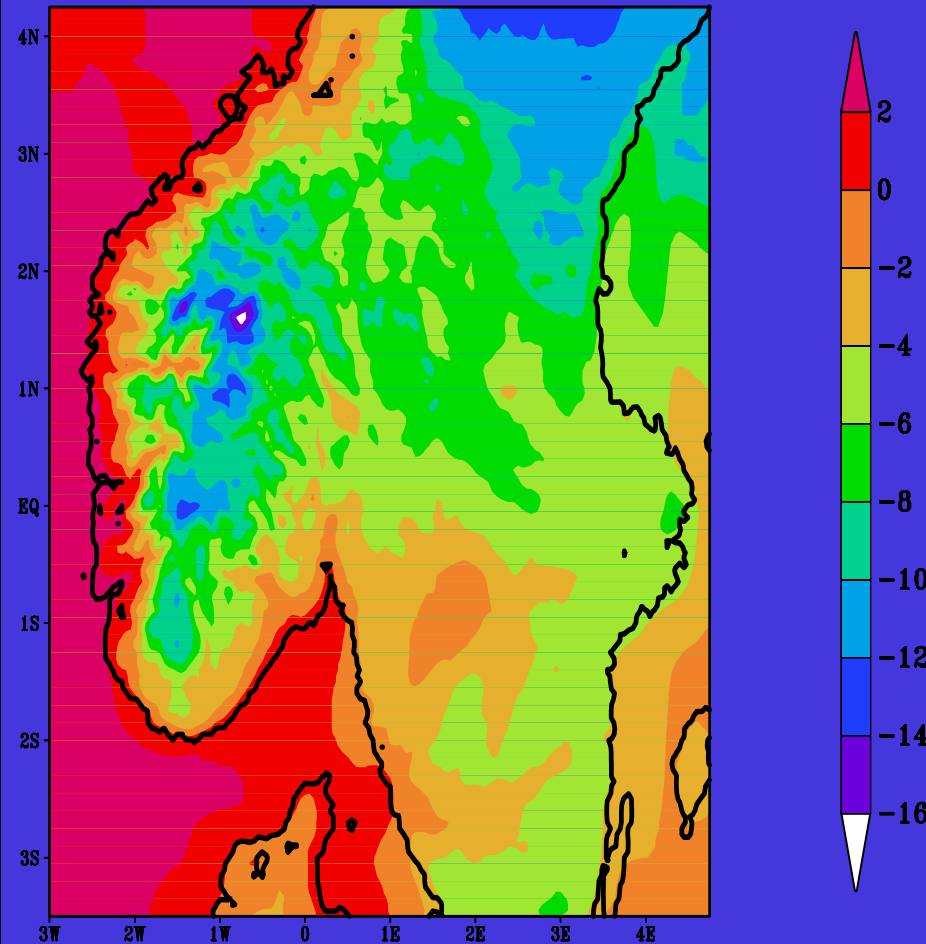
# Norwegian experiment: Resolution 5.5 km, time-step 4 min

10 m temperature, 24 h forecast.

Temperature differences are mostly  $< 1$  C,  
except on mountain tops, where  $\sim -3$  C

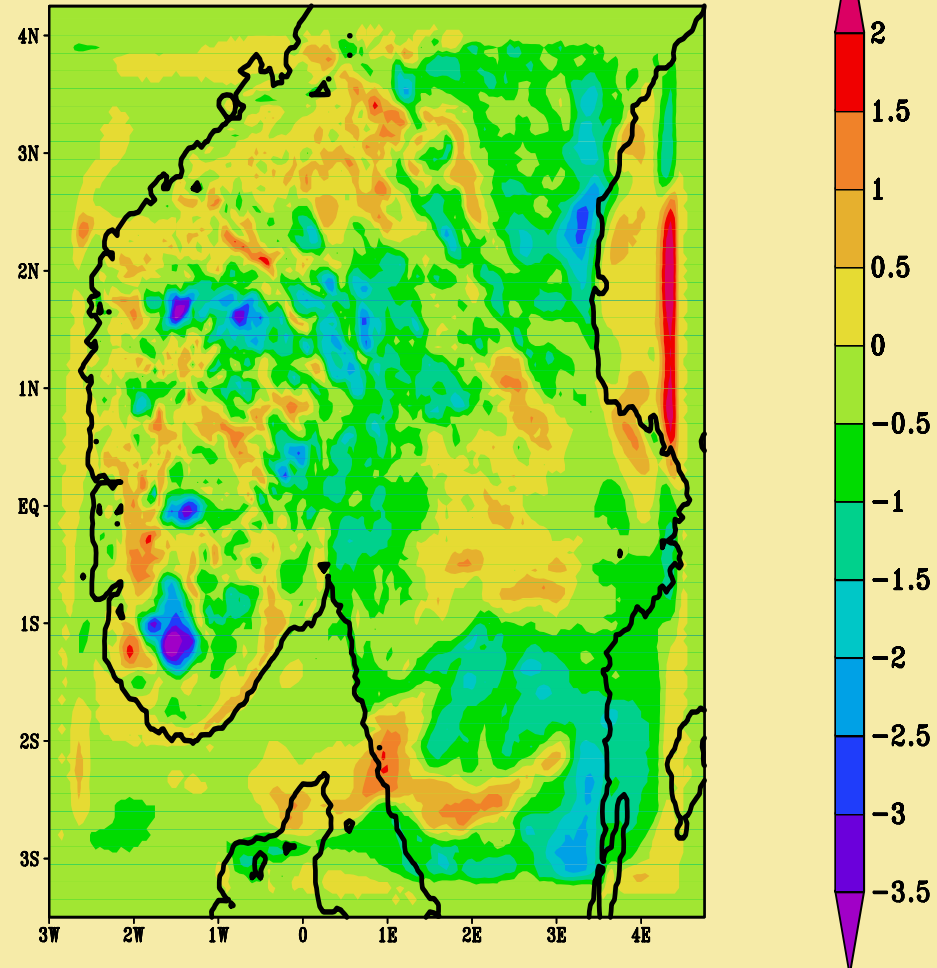
## NH SISL

T\_nh\_31, 2001.03.22.00+24



## NH - HS SISL

T\_nh - T\_hs , 2001.03.22.00+24





# Rakendamine Eestis: katseline ilmaennustus EMHI-is

- **ETB**

- Võre

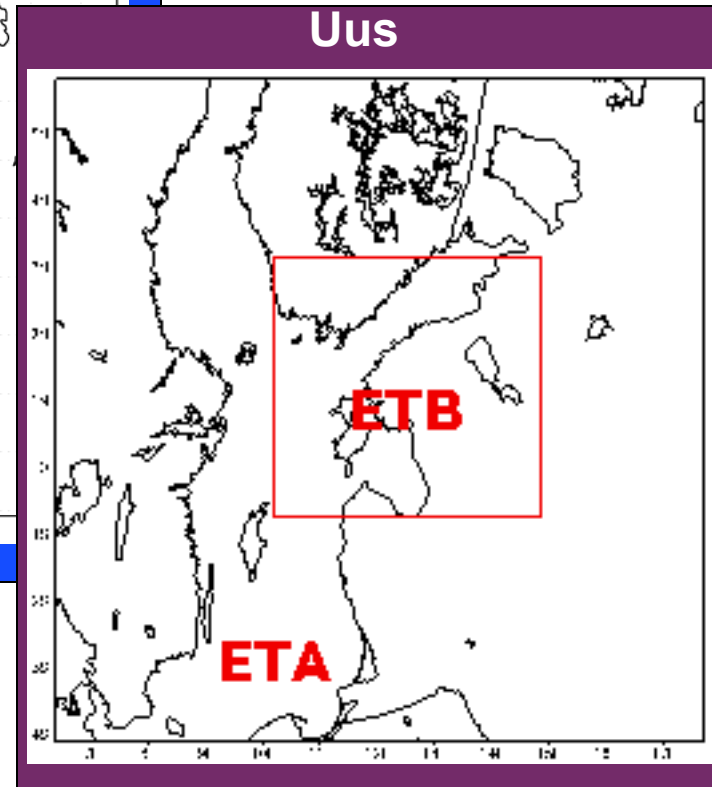
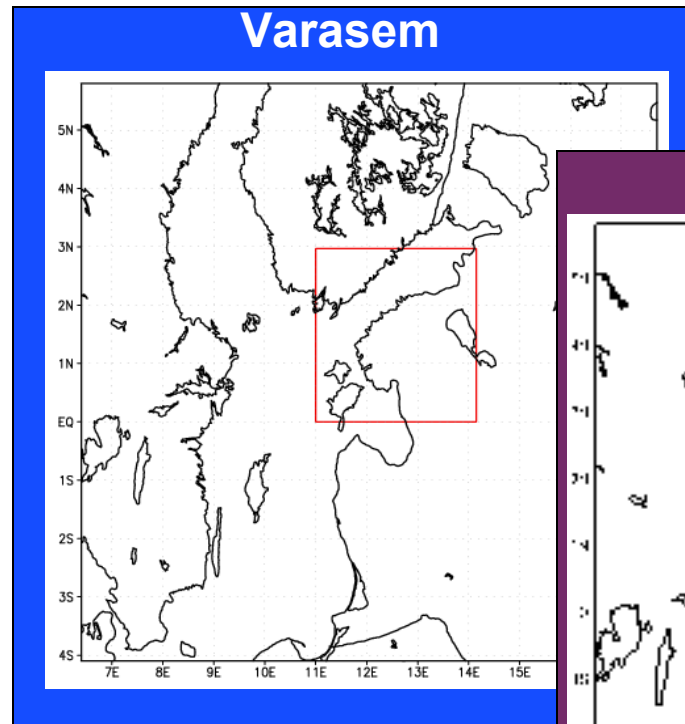
- 196×170×40

- (oli 104x100x40, pindala kasv on 3.3x )

- 3.3 km lahutus

- $\Delta t=150s$

- (oli 30 s, ajasammu kasv on 5 korda)



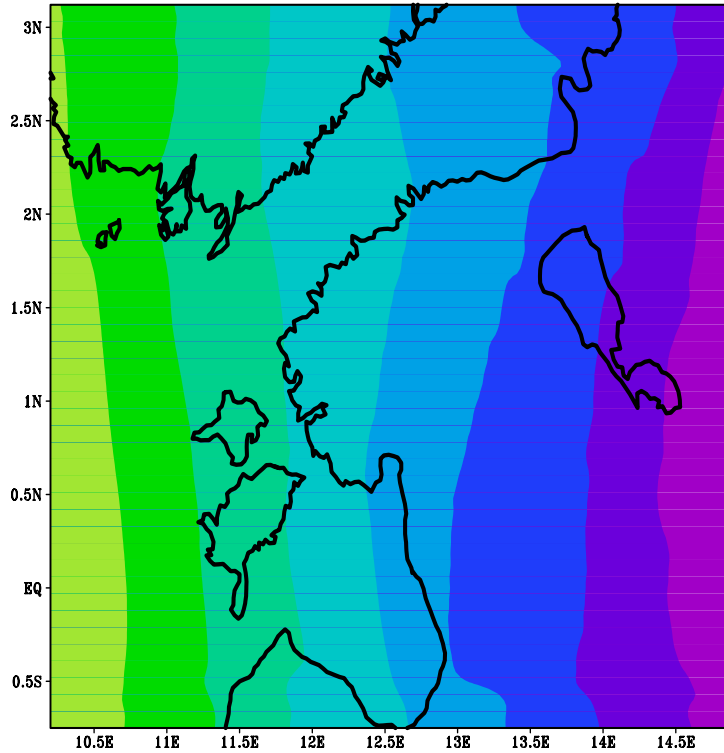
36h ennustus üks kord päevas algusega 00 GMT (ja nii iga päev)

**TEST: HS ja NH mudeli võrdlus**  
**ETB arvutused**

# Mean sea level pressure 36 h forecast within ETB. Resolution 3.3 km, time-step 1.5 min

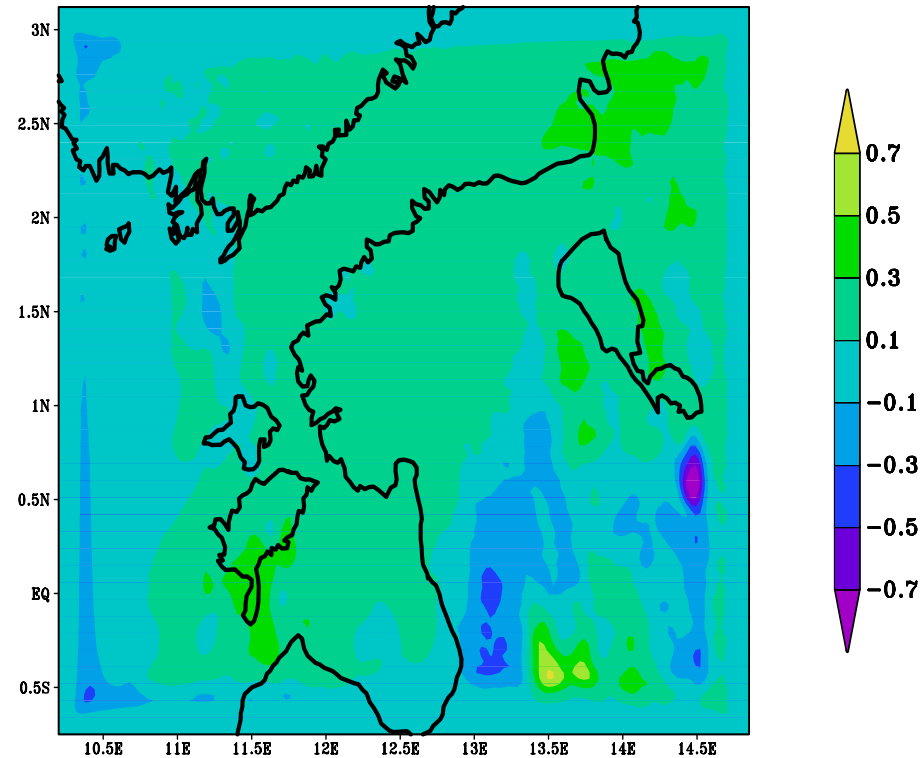
**NH SISL**

P\_nh\_msl [mb], 2004.09.07.00+36



**NH – HS SISL**

Pmsl\_nh - Pmsl\_hs [mb], 2004.09.07.00+36



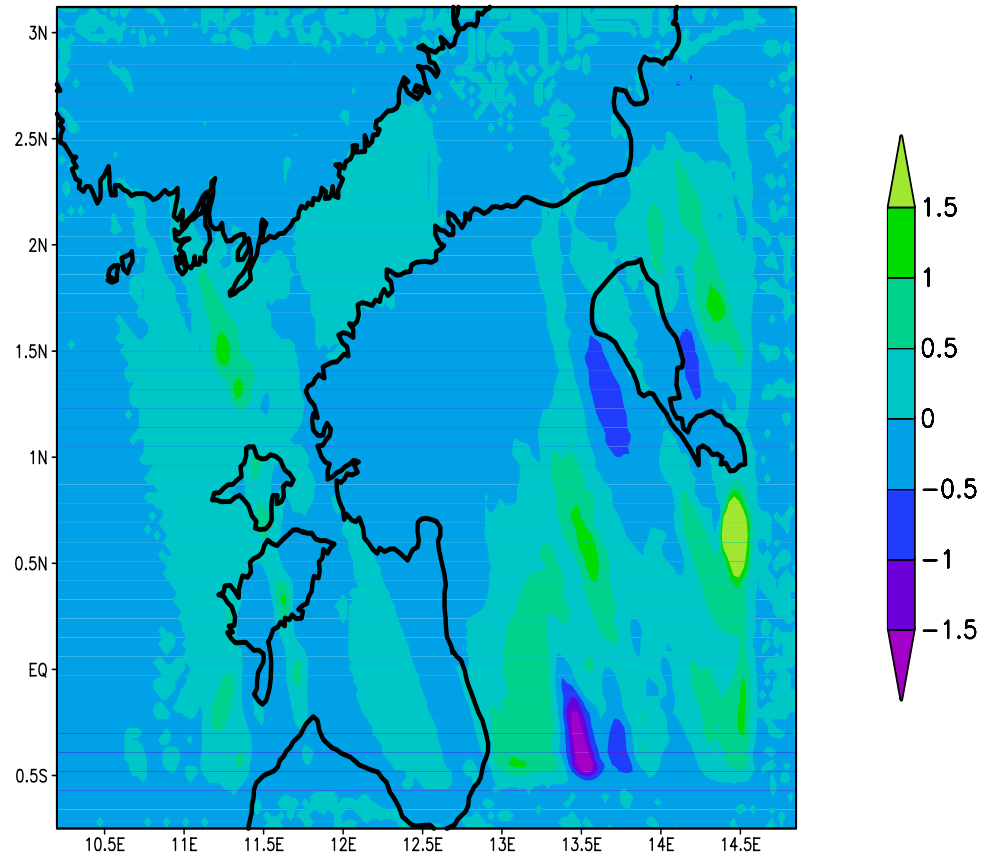
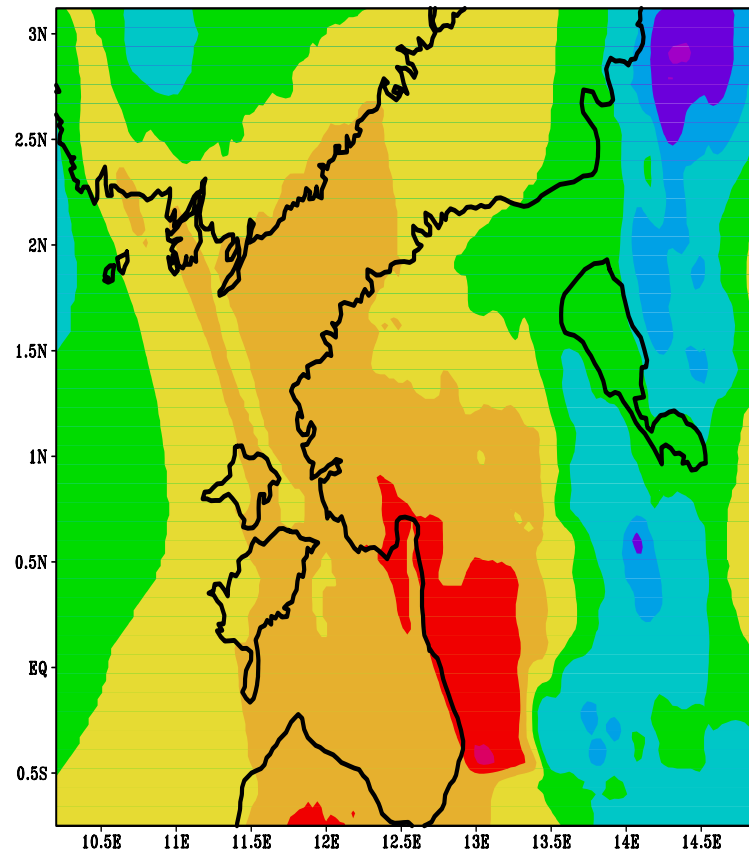
**T\_40 36 h forecast within ETB. Resolution 3.3 km, time-step 1.5 min**

**NH SISL**

**NH – HS SISL**

T\_nh\_40, 2004.09.07.00+36

T\_nh - T\_hs , 2004.09.07.00+36



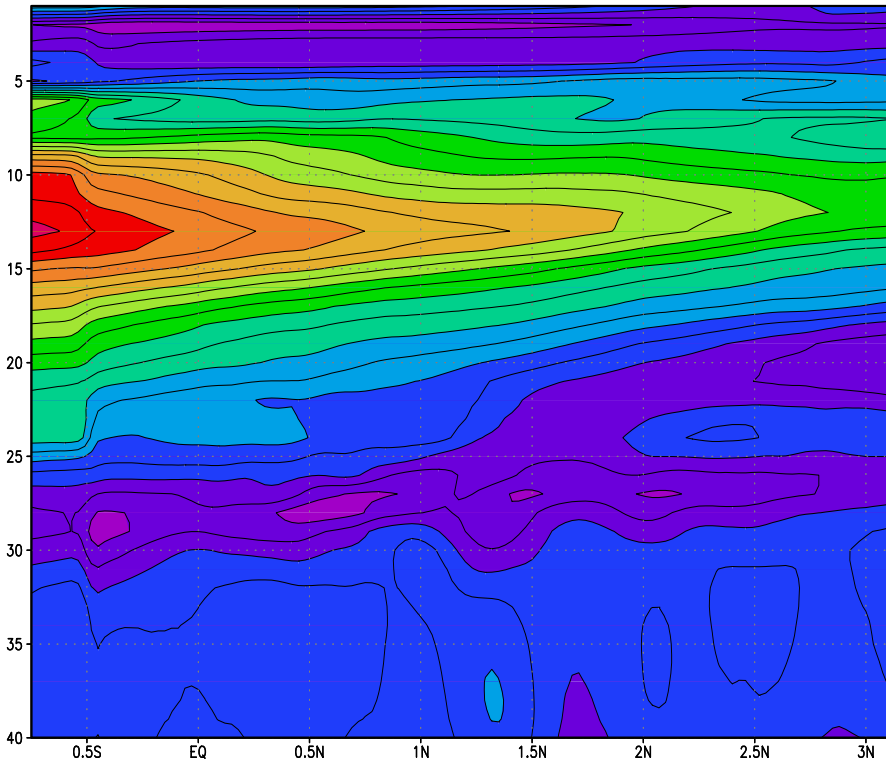
# 36 h forecast within ETB

## U-wind vertical cross section

*Resolution 3.3 km, time-step 1.5 min*

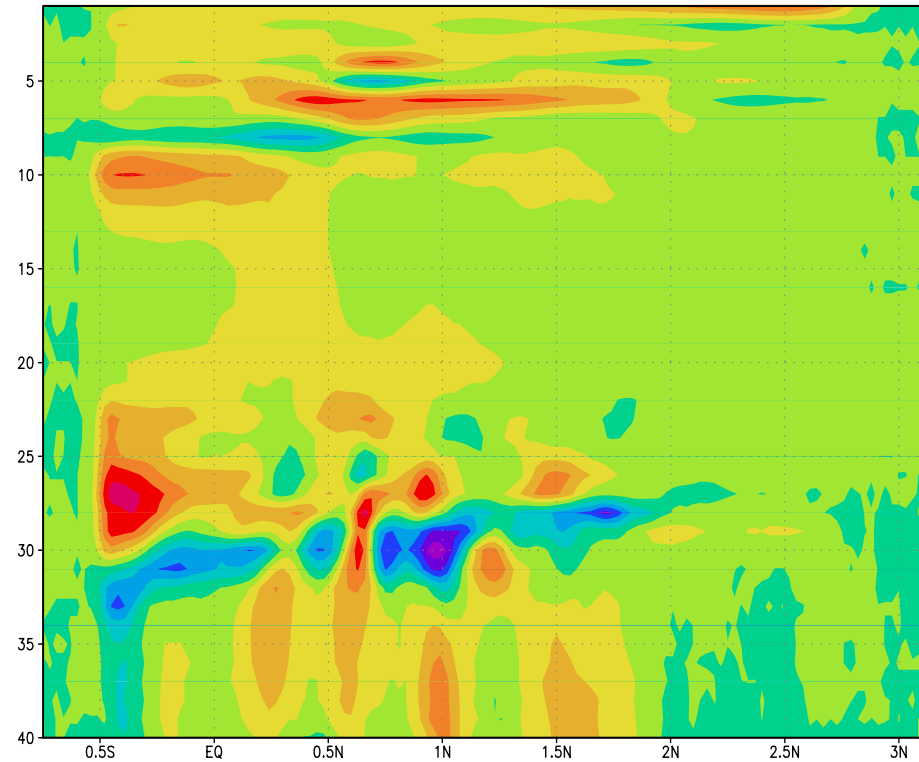
**NH SISL**

U\_nh, lam=11.5, 2004.09.07.00+36

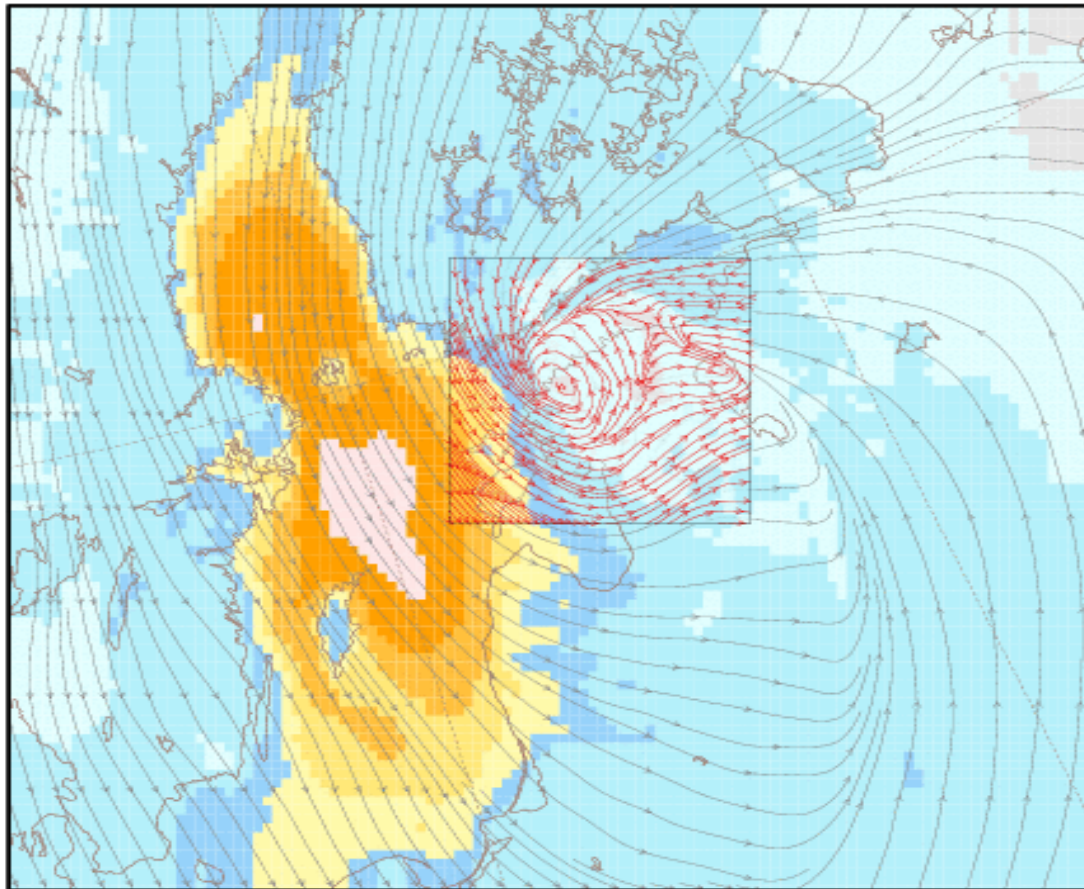


**NH – HS SISL**

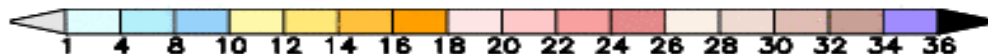
U\_nh - U\_hs, lam=11.5, 2004.09.07.00+36



# Väikese ala näide: tsüklon Eesti kohal 2. märtsil 2004



Voolujooned  
ja tuule  
kiirus 10 m  
kõrgusel





# Klasterarvuti

- 12 sõlme
  - 12x1GB RAM
  - 1.6 GHz Pentium IV
- Gigabit Ethernet
- RedHat Linux 7.3
- LAM MPI
- Intel Fortran 95



# FKKF kobararvuti



- 4 sõlme
  - 4x1GB RAM
  - 3.0 GHz Pentium IV
- Gigabit Ethernet
- Debian Linux
- LAM MPI
- Intel Fortran 95

# Ennustustulemused on nähtaval:

- <http://meteo.physic.ut.ee/ilmatark/>
- <http://www.emhi.ee/?ide=19,394>

Ilmaprognoosid



HIRLAM mudel



# Üldisi järeldusi (diskussioon)

- **NH SISL kasutuselevõtt on andnud ETB mudelile päris olulise arenduse (kiirus, alasuurus, efektiivsus)**
- **Füüsika täpsema käsitlemise seisukohast on efekt praegustel lahutustel (~3 km) mõõdukas**
- **Kõige rohkem loodame uuest mudelist kasu ja täpsuse paranemist lahutustel 1 km – 500 m füüsika käsitlemisel:**
  - Keerukas (kompleksne) orograafia
  - Planeetaarne piirkiht
  - Konvektsioon (äikesetormid etc) veeauru osalusel