

VYUŽITÍ NUMERICKÉHO MODELU WRF PRO SIMULACI A OPERATIVNÍ PŘEDPOVĚĎ POČASÍ V ANTARKTIDĚ



MICHAEL MATĚJKA

MUNI Geografický ústav
SCI



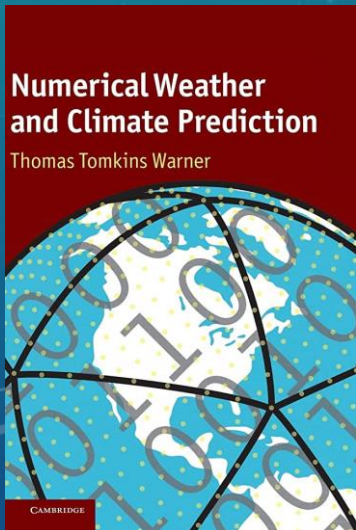
STRUKTURA PREZENTACE

- Numerické modelování atmosféry – jak modely pracují?
- Model Weather Research and Forecasting (WRF)
- Simulace meteorologických podmínek v Antarktidě pomocí modelu WRF
 - přesnost modelu, vliv nastavení modelu
 - případové studie - významné meteorologické situace
- Operativní předpověď počasí – podpora terénního výzkumu
 - AMPS
 - implementace modelu WRF pro expedici na ostrov Jamese Rosse 2023

JAK NUMERICKÝ MODEL ATMOSFÉRY PRACUJE?

- Jádrem modelu je soustava diferenciálních rovnic -> popisují změnu základních parametrů atmosféry v čase
- v praxi řešeno numerickými metodami
 - diskretizace problému (výpočet po konkrétních časových krocích)
 - otázka stability
- Fyzikální parametrizace
 - zjednodušená matematická formulace některých meteorologických jevů, které nelze simulovat „přímo“
 - mikrofyzika oblaků
 - záření v atmosféře
 - turbulence
 - (konvekce)

Pro zájemce:



Variables: $\{\mathbf{v}, p, T, \rho, q\}$

$$\frac{d}{dt} \mathbf{v} = -2\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{v} - \frac{1}{\rho} \nabla_3 p + \mathbf{g} + \mathbf{F} \quad \text{Conservation of momentum (Navier-Stokes)}$$

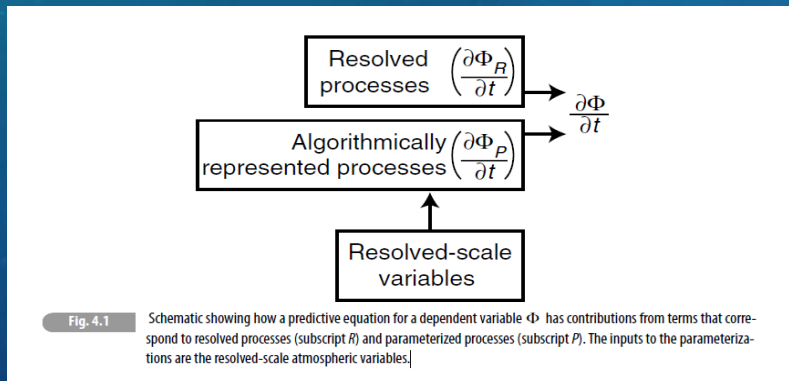
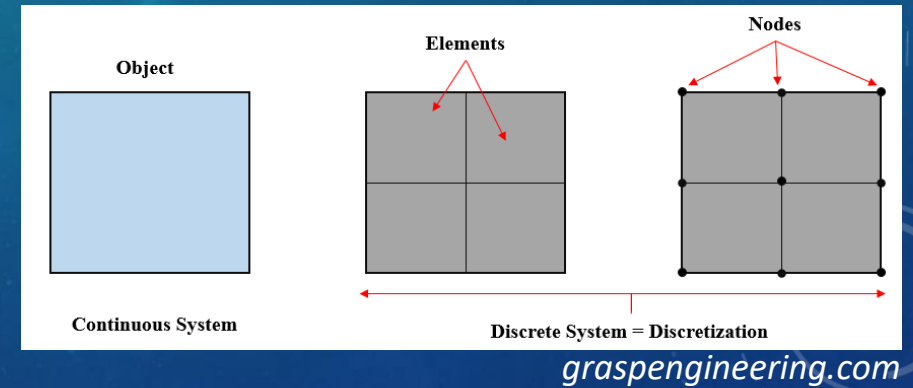
$$C_v \frac{d}{dt} (\rho q) + p \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{\rho} \right) = J \quad \text{Conservation of energy (1st Law of Thermodynamics)}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho) = -\nabla_3 \cdot (\rho \mathbf{v}) \quad \text{Conservation of air mass}$$

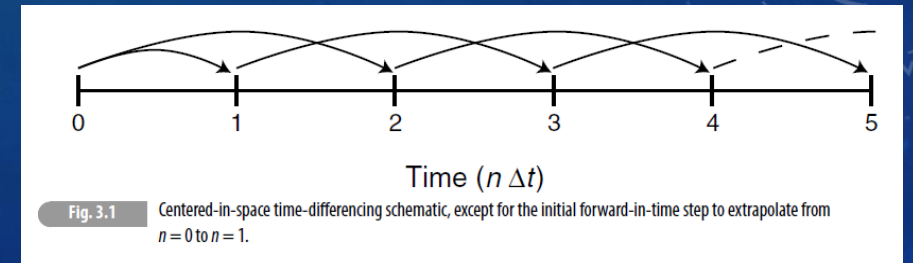
$$\frac{\partial}{\partial t} = -\nabla_3 \cdot (\rho \mathbf{v} q) + \rho (E - C) \quad \text{Continuity of water vapor mass}$$

$$p = \rho R T \quad \text{Equation of state (Ideal gas law)}$$

University of Reading



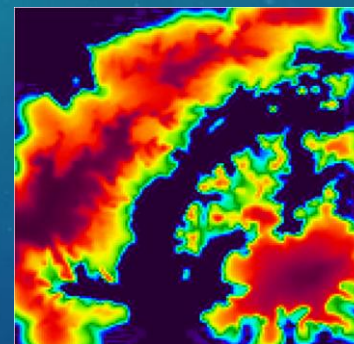
Warner et al., 2011



Warner et al., 2011

MODEL WEATHER RESEARCH AND FORECASTING (WRF)

- numerický model atmosféry vyvinutý primárně v USA
 - NCAR, NOAA a další
- možnost využití jak pro zpětnou analýzu, tak pro operativní předpověď
- **open-source** program pro Linux
 - jednodušší simulaci lze spustit i na laptopu/desktopu (dostatečně výkonném)
 - možnost uživatelských adaptací -> WRF-Hydro, WRF-Chem,...
 - rozsáhlé možnosti nastavení
 - velký výběr fyzikálních parametrizací
- vstupní data
 - geografická data (zejména výškový model terénu a land-cover)
 - meteorologická data pro přípravu počátečních a okrajových podmínek
 - reanalýzy (pro simulace v minulosti)
 - globální předpovědní model (pro operativní prognózu)

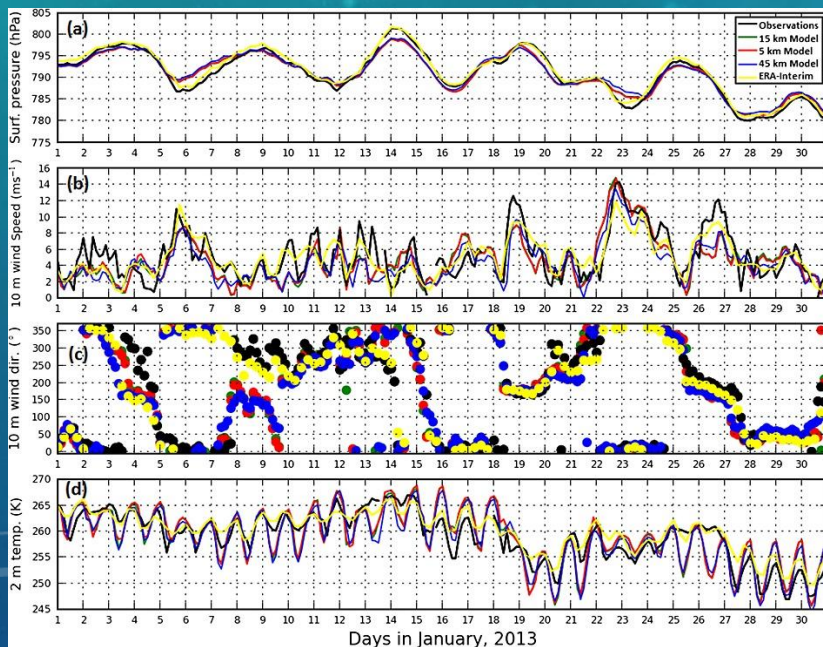


NCAR
UCAR



TESTOVÁNÍ MODELU WRF V ANTARKTIDĚ

- řada studií se zaměřením zejména na teplotu vzduchu a rychlost větru
 - různé regiony, případně celá Antarktida
 - bias (střední chyba) většinou do 3 °C a 3 m·s⁻¹
 - vertikální profily nad Weddelovým mořem (Tastula et al., 2012)



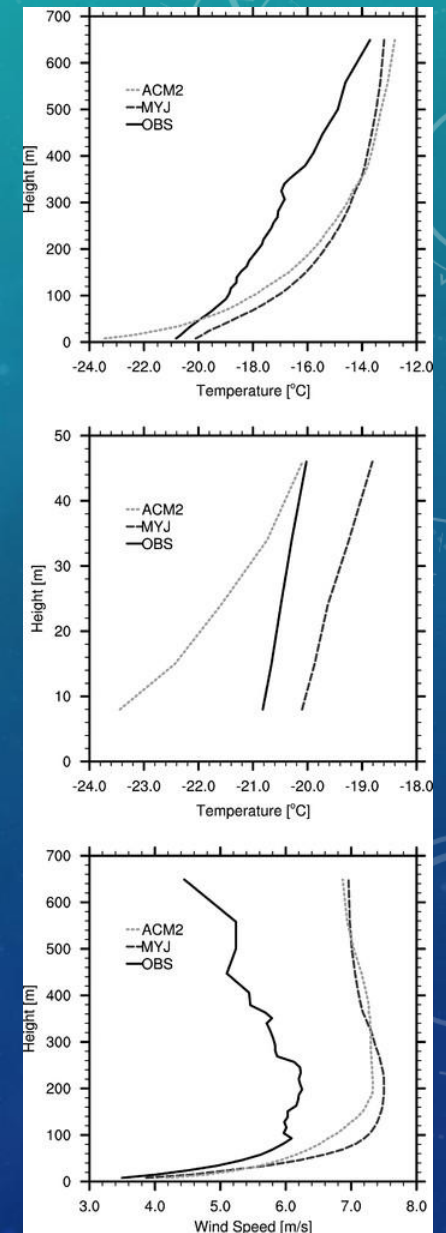
Deb et al., 2016

Table 5. Validation statistics for air temperature and wind speed simulations by standard (this study) or Polar WRF in Antarctica. Note: if more values were reported, the minimum and maximum values are shown. Values of bias and RMSE rounded to one decimal point. In addition to the WRF model results, validation statistics of the RACMO2 and MetUM models by King et al. [30] are shown for comparison.

| Study | Air Temperature (°C) | | | Wind Speed (m·s ⁻¹) | | |
|---|----------------------|---------|-----------|---------------------------------|----------|-----------|
| | Bias | RMSE | r_{xy} | Bias | RMSE | r_{xy} |
| This study | -1.7/1.4 | 1.8/3.7 | 0.75/0.98 | -0.2/5.1 | 2.1/6.4 | 0.41/0.93 |
| Tastula et al., 2012 [24] | -2.1/0.7 | 5.4/6.9 | 0.7 | -0.6/-0.4 | 3.2 | 0.2 |
| Bromwich et al., 2013 ¹ [22] | -2.8/2.1 | 3.3/6.0 | 0.58/0.80 | 0.4/2.9 | 3.3/5.0 | 0.43/0.73 |
| King et al., 2015 [30]-AMPS | -0.9 | - | 0.54 | 0.3 | - | 0.79 |
| King et al., 2015 [30]-RACMO2 | 0.2 | - | 0.57 | -0.5 | - | 0.84 |
| King et al., 2015 [30]-MetUM | 0.5 | - | 0.62 | -0.1 | - | 0.69 |
| Deb et al., 2016 ² [19] | -4.6/1.0 | 2.3/5.7 | 0.74/0.90 | -0.4/2.0 | 2.17/6.5 | 0.44/0.79 |
| Turton et al., 2017 [15] | 0.5/3.1 | - | 0.82/0.93 | 0.8/4.3 | - | 0.46/0.84 |

¹ approximate monthly values from the main simulation in 60 km resolution are shown. ² simulation A1 with the MYJ boundary layer scheme is given.

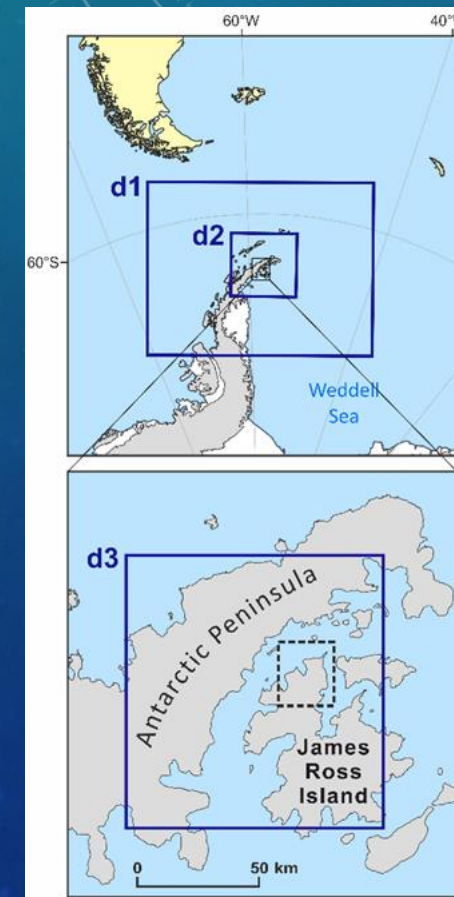
Matějka et al., 2021



Tastula et al., 2012

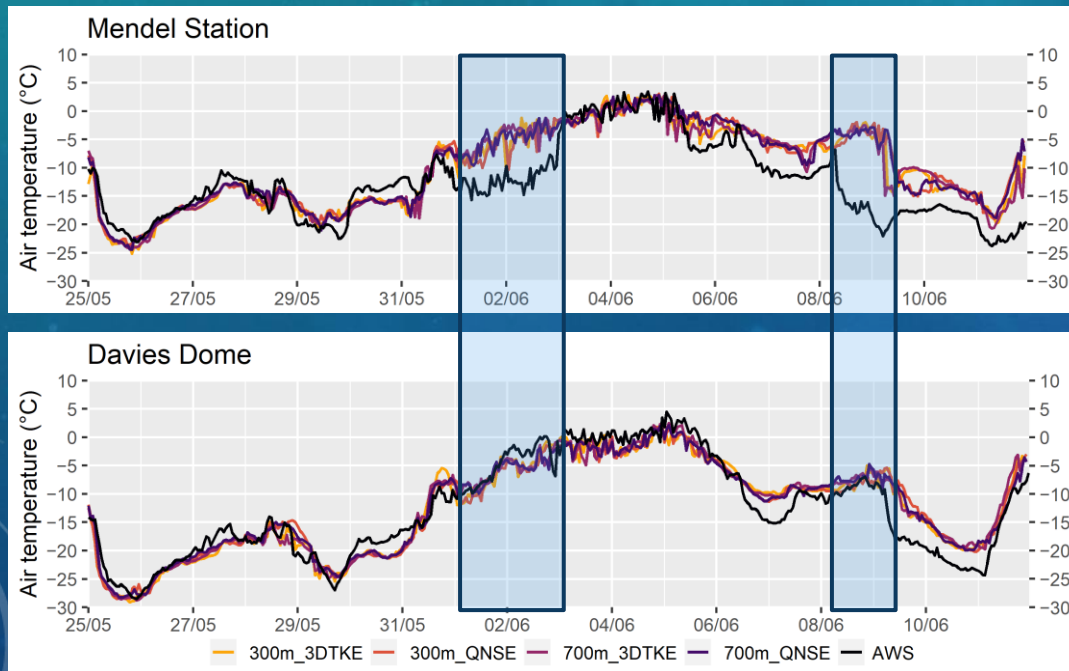
VALIDACE MODELU WRF NA OSTROVĚ JAMESE ROSSE

- severní část ostrova v okolí stanice J. G. Mendela
 - členitý terén
 - různé typy povrchů
 - specifické klima – relativně suché a chladné, ale s krátkými výraznými otepleními ($i > +10\text{ °C}$)
- implementace modelu WRF v horizontálním rozlišení 700 m/300 m
- počáteční a okrajové podmínky: reanalýza ERA5
- testováno několik schémat mezní vrstvy atmosféry a mikrofyziky oblaků
- počítáno převážně na strojích Metacentrum cloud

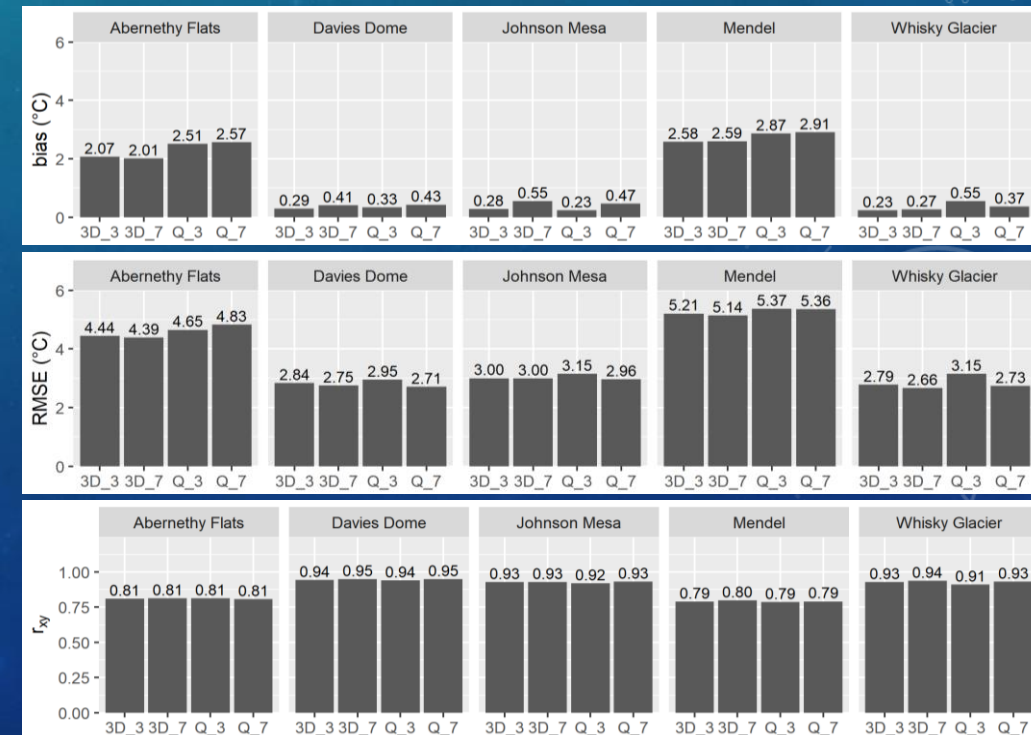


MODEL WRF NA OSTROVĚ JAMESE ROSSE – TEPLOTA VZDUCHU

- obecně vyšší přesnost v létě a v zimě ve vyšších polohách (300 – 500 m n. m.)
 - problémem zůstávají výrazné teplotní inverze v nižších polohách
 - korelační koeficient: 0.79 – 0.95
- zvýšení rozlišení ze 700 m na 300 m má jen malý vliv

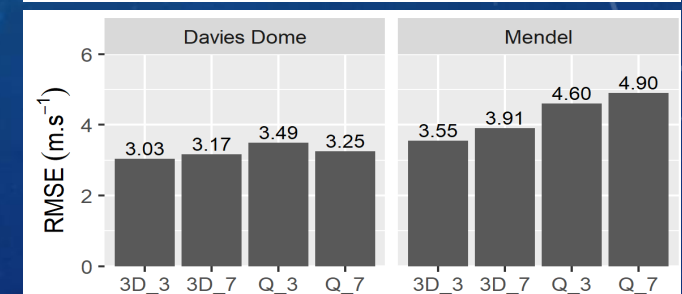
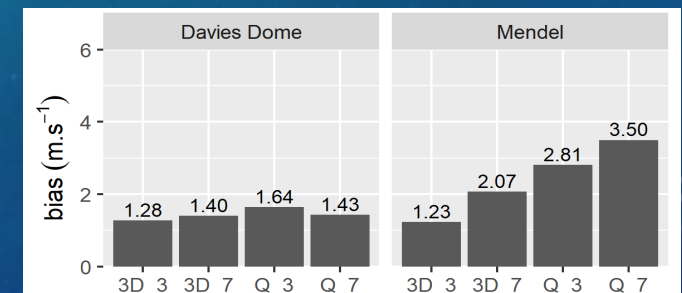
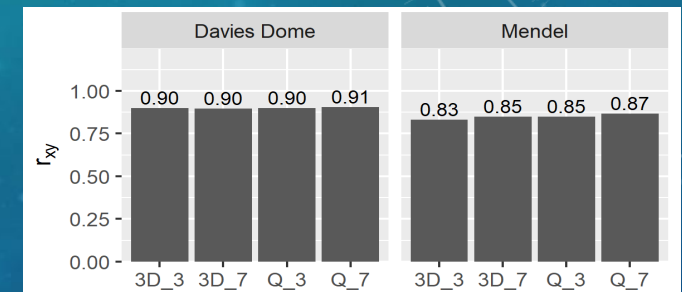
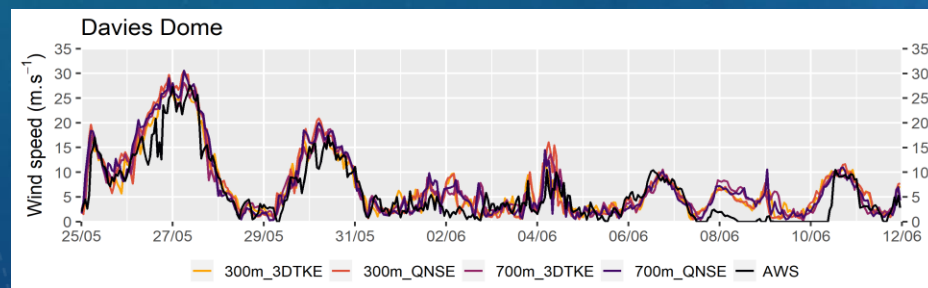
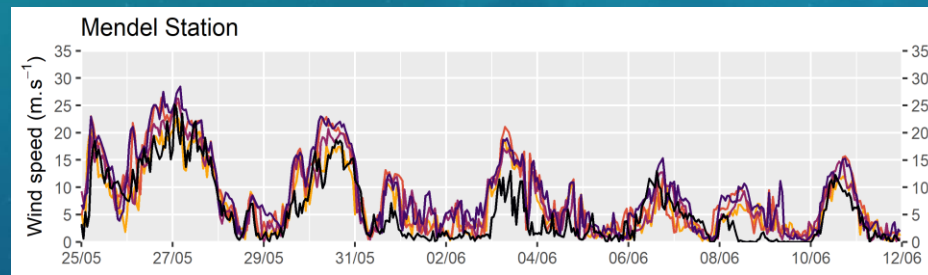


- MATĚJKA, Michael, Kamil LÁSKA, Klára JEKLOVÁ a Jiří HOŠEK. High-Resolution Numerical Modelling of Near-Surface Atmospheric Fields in the Complex Terrain of James Ross Island, Antarctic Peninsula. *Atmosphere*. Basel: MDPI, 2021, roč. 12, č. 3, "360", 21 s. ISSN 2073-4433.
- MATĚJKA, Michael a Kamil LÁSKA. Impact of the selected boundary layer schemes and enhanced horizontal resolution on the Weather Research and Forecasting model performance on James Ross Island, Antarctic Peninsula. *Czech Polar Reports*. Masaryk University Press, 2022, roč. 12, č. 1, s. 15-30. ISSN 1805-0689.



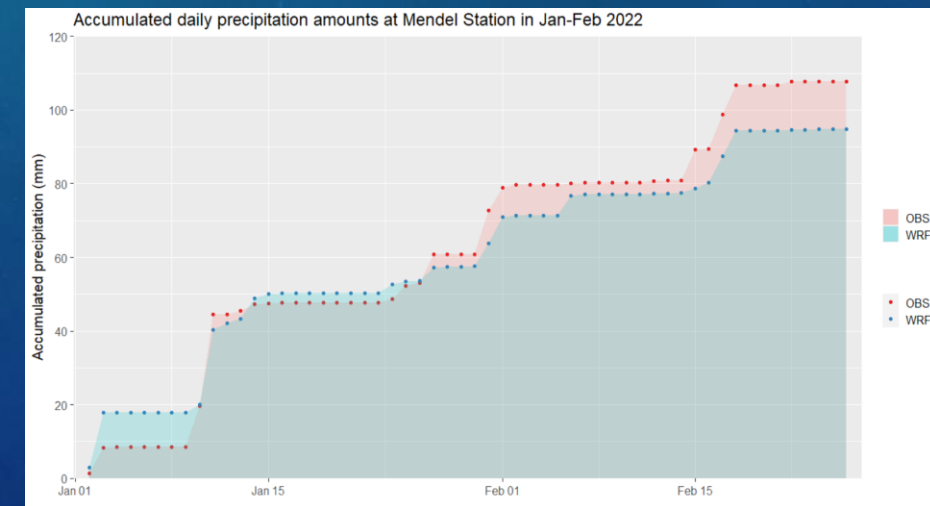
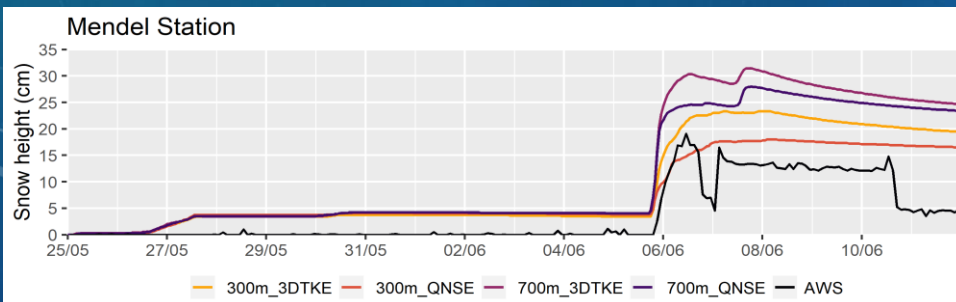
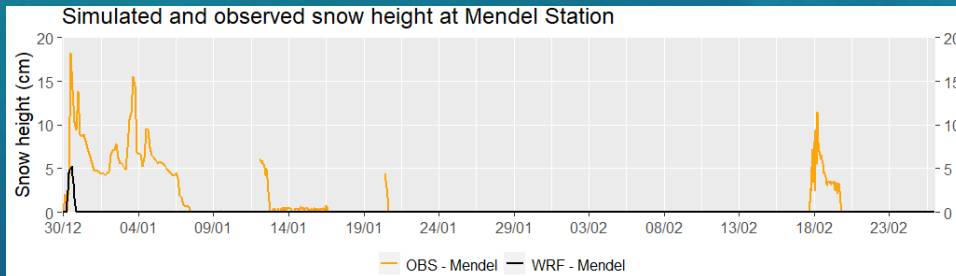
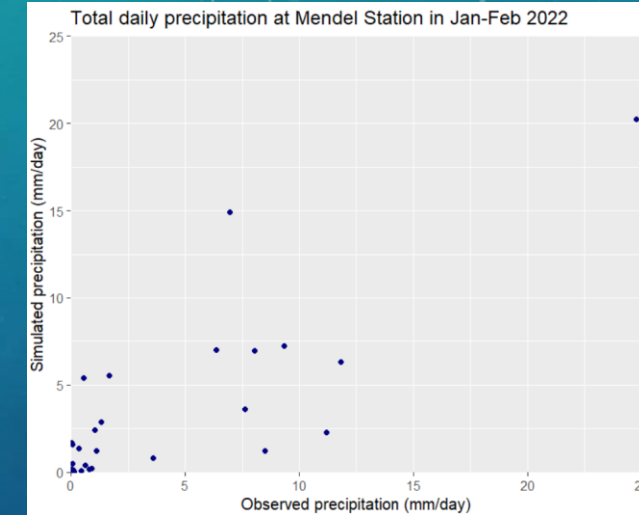
MODEL WRF NA OSTROVĚ JAMESE ROSSE – RYCHLOST VĚTRU

- vysoká korelace s měřenými hodnotami, $r_{xy} > 0.83$
- vyšší polohy (Davies Dome)
 - bias $\sim 1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
 - podobná přesnost v rozlišení 700 m a 300m
- pobřežní oblast (Mendel)
 - bias závislý na rozlišení a schématu mezní vrstvy
 - výrazné zlepšení při zvýšení rozlišení na 300 m a využití 3D TKE schématu mezní vrstvy



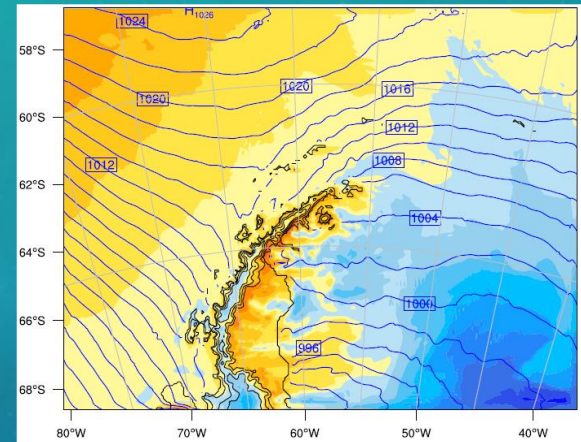
MODEL WRF NA OSTROVĚ JAMESE ROSSE – SRÁŽKY A SNĚHOVÁ POKRÝVKA

- validace pomocí naměřených srážkových úhrnů v lednu a únoru 2022
 - optický srážkoměr Thies + záložní manuální měření
- Spearmanův korelační koeficient pro denní úhrny: 0.86
- Celková akumulace: 107.8 mm, modelovaná 94.7 mm
- sněhová pokrývka:
 - lepší přesnost v zimě než v létě
 - chybějící snowdrift (řeší CRYOWRF)

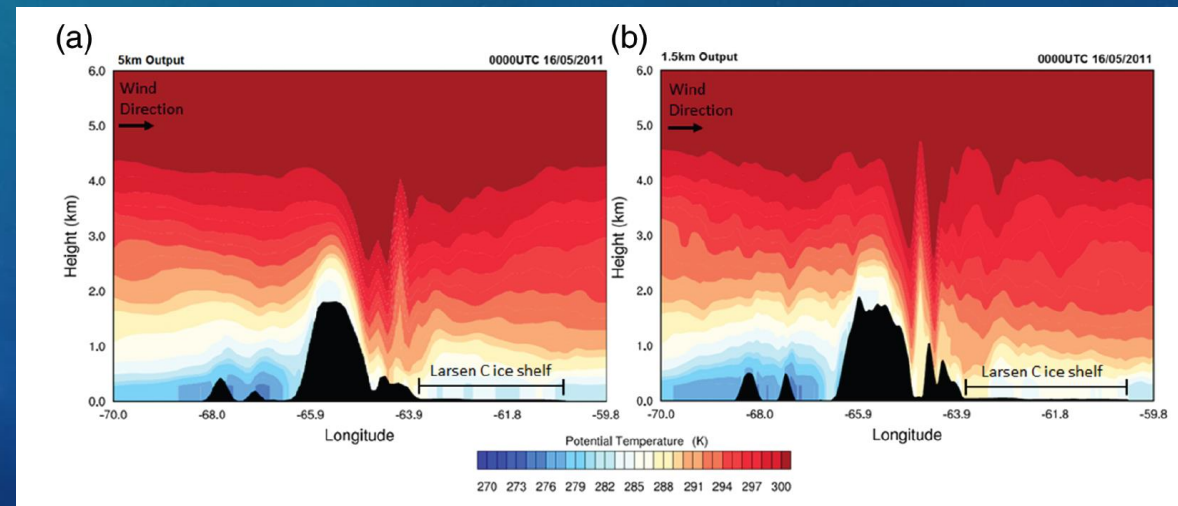
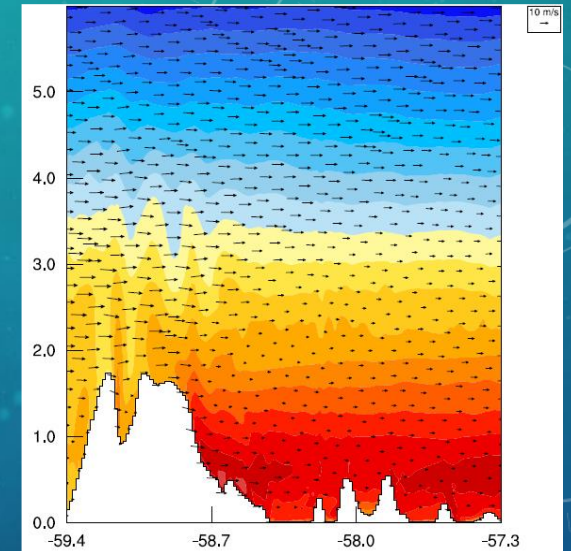


PŘÍPADOVÉ STUDIE

- v prostoru Antarktického poloostrova často zaměřené na situace s výskytem fénu a významnou ablací sněhu/ledu
- „přírodní laboratoř pro studium fénu“ – Elvidge, 2014
-> využití různých numerických modelů – WRF, MetUM
- simulace inverzí teploty vzduchu (Ambrožová et al., 2022)
- epizody silného větru (Kwon et al., 2019)
- extrémní ablace na ostrově Jamese Rosse v sezóně 2022/2033 -> probíhající výzkum



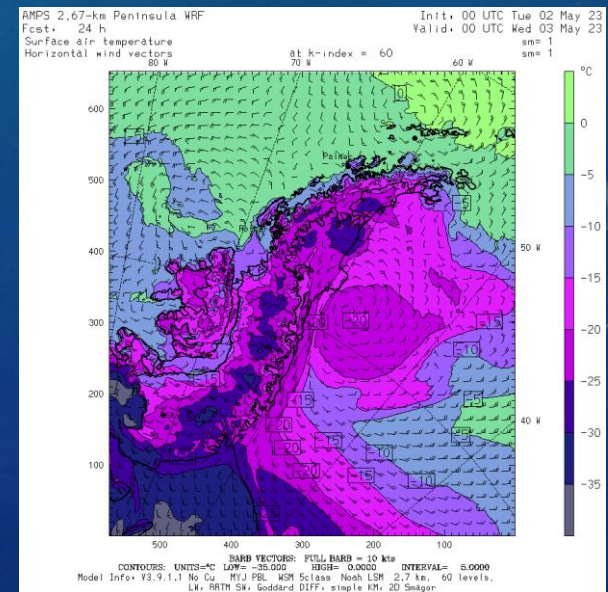
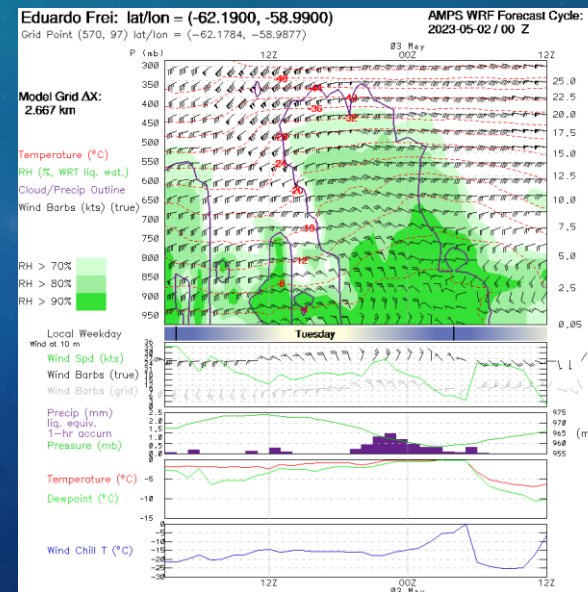
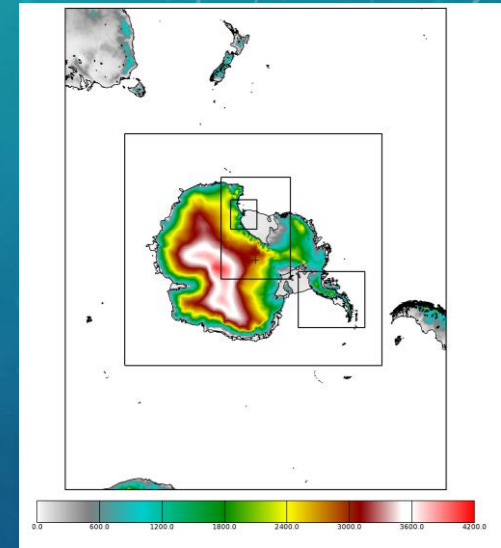
Matějka, DP, 2020



Turton et al., 2017

OPERATIVNÍ PŘEDPOVĚĎ POČASÍ MODELEM WRF

- AMPS – Antarctic Mesoscale Prediction System
 - NCAR, Byrd Polar Research Center (USA)
 - řada vnořených WRF domén s horizontálním rozlišením 889 m až 24 km
 - Antarktický poloostrov 2.67 km
 - 61 vertikálních hladin
 - výpočet 2x denně, počáteční a okrajové podmínky vychází z výstupu globálního modelu GFS
 - výsledky dostupné online: mapy, meteogramy, vertikální profily
 - <https://www2.mmm.ucar.edu/rt/amps/>



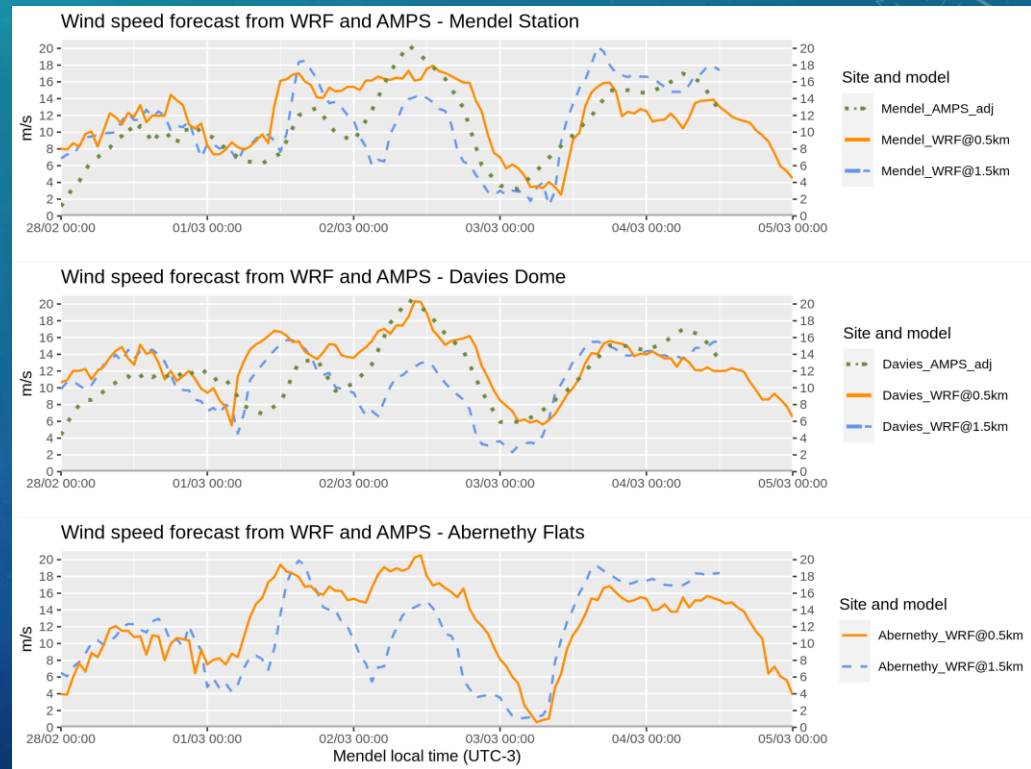
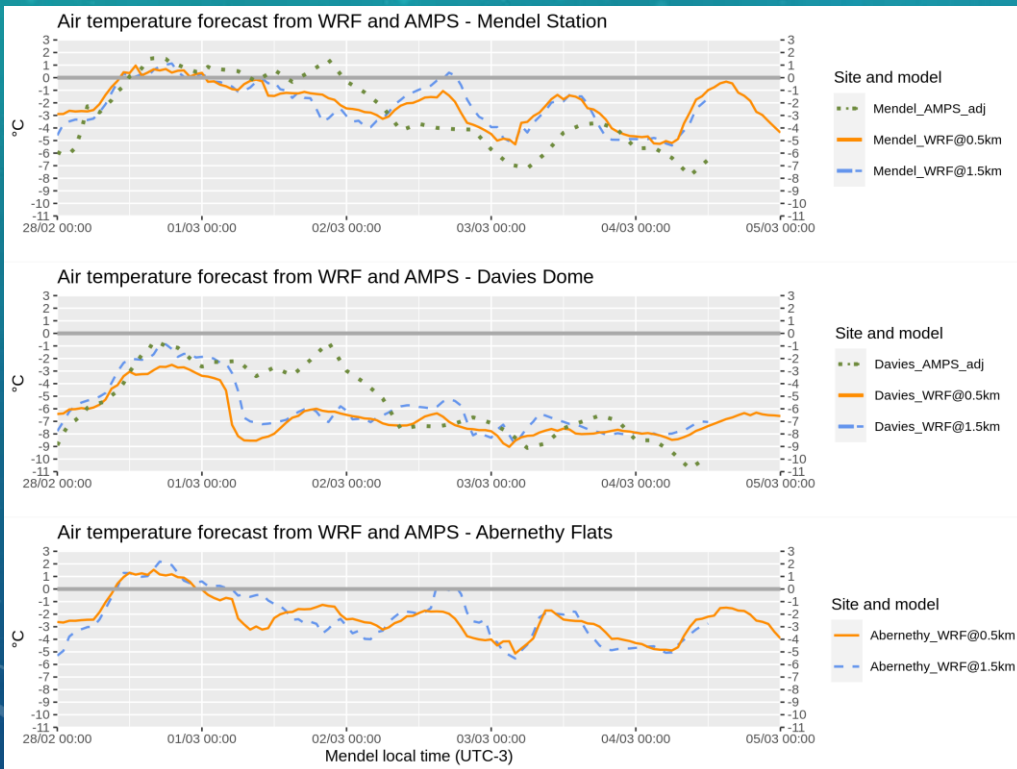
VYUŽITÍ MODELU WRF PRO EXPEDICI NA JGM 2023

- implementace modelu WRF založená na dosavadních validačních studiích na ostrově Jamese Rosse
 - výběr fyzikálních parametrizací
- počáteční a okrajové podmínky z globálního modelu GFS
- 2 výpočty denně
 - **WRF @ 500 m** využívající GFS 12:00 UTC předchozího dne
 - **WRF @ 1.5 km** využívající GFS 00:00 UTC
- výsledky obou výpočtů spolu s aktuálním výpočtem AMPS odesílány 1x denně v textovém formátu na satelitní email stanice (cca 30 kB)
- na stanici tvorba grafů pomocí předpřipraveného skriptu



VYUŽITÍ MODELU WRF PRO EXPEDICI NA JGM 2023

- dostupné parametry: teplota vzduchu, relativní vlhkost, tlak vzduchu, směr a rychlost větru, globální záření, srážky, výška sněhové pokrývky
- výstup z AMPS korigován pomocí zjištěné chyby během sezóny 2021/2022
- přibližně 4 dny dopředu



ZÁVĚR

- numerické modely hrají významnou roli v meteorologickém výzkumu a vytvářejí nejdůležitější podklady pro operativní předpověď počasí
- dynamické jádro + fyzikální parametrizace
- WRF – open-source model
 - široké možnosti využití
 - pro seznámení se s modelem stačí běžně dostupný HW
 - náročnější simulace lze počítat v cloudu nebo na HPC infrastruktuře (např. IT4I, LUMI)
- Model WRF využíván i v Antarktidě
 - validace modelu
 - výzkum významných meteorologických událostí
 - operativní předpověď



DĚKUJI ZA POZORNOST