

# Az időjárás-előrejelzés gépi tanulása



FourCastNet  
Pangu-Weather  
**GraphCast**  
AIFS

Leelőssy Ádám

EÖTVÖS LORÁND  
TUDOMÁNYEGYETEM

Természettudományi Kar  
Meteorológiai Tanszék



ELTE | TTK

RRF-2.3.1-21-2022-00014  
Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium



e-mail: [adam.leelossy@ttk.elte.hu](mailto:adam.leelossy@ttk.elte.hu)  
<http://nimbus.elte.hu>

2022. február 24.



ELTE | TTK

RRF-2.3.1-21-2022-00014  
Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium



e-mail: [adam.leelossy@ttk.elte.hu](mailto:adam.leelossy@ttk.elte.hu)  
<http://nimbus.elte.hu>

# 2022. február 24. – NVidia FourCastNet

## Team



Jaideep P.  
NVIDIA



Shashank S.  
LBL



Peter H.  
LBL



Sanjeev R.  
U Michigan



Ashesh C.  
Rice U.



Morteza M.  
NVIDIA



Thorsten K.  
NVIDIA



David H.  
NVIDIA



Zongyi L.  
Caltech



Kamyar A.  
Purdue



Pedram H.  
Rice U.



Karthik K.  
NVIDIA



Anima A.  
NVIDIA / Caltech

## FOURCASTNET: A GLOBAL DATA-DRIVEN HIGH-RESOLUTION WEATHER MODEL USING ADAPTIVE FOURIER NEURAL OPERATORS

A PREPRINT

Jaideep Pathak  
NVIDIA Corporation  
Santa Clara, CA 95051

Shashank Subramanian  
Lawrence Berkeley  
National Laboratory  
Berkeley, CA 94720

Peter Harrington  
Lawrence Berkeley  
National Laboratory  
Berkeley, CA 94720

Sanjeev Raja  
University of Michigan  
Ann Arbor, MI 48109

Ashesh Chattopadhyay  
Rice University  
Houston, TX 77005

Morteza Mardani  
NVIDIA Corporation  
Santa Clara, CA 95051

Thorsten Kurth  
NVIDIA Corporation  
Santa Clara, CA 95051

David Hall  
NVIDIA Corporation  
Santa Clara, CA 95051

Zongyi Li  
California Institute of Technology  
Pasadena, CA 91125  
NVIDIA Corporation  
Santa Clara, CA 95051

Kamyar Azizzadenesheli  
Purdue University  
West Lafayette, IN 47907

Pedram Hassanzadeh  
Rice University  
Houston, TX 77005

Karthik Kashinath  
NVIDIA Corporation  
Santa Clara, CA 95051

Animashree Anandkumar  
California Institute of Technology  
Pasadena, CA 91125  
NVIDIA Corporation  
Santa Clara, CA 95051

February 24, 2022

Pathak et al. "FourCastNet: A Global Data-driven High-resolution Weather Model using Adaptive Fourier Neural Operators." *arXiv:2202.11214* (2022).



ELTE | TTK

RRF-2.3.1-21-2022-00014  
Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium



e-mail: [adam.leelossy@ttk.elte.hu](mailto:adam.leelossy@ttk.elte.hu)  
<http://nimbus.elte.hu>

# 2023. július 5. – Huawei Pangu-Weather


nature

[Explore content](#) ▾ [About the journal](#) ▾ [Publish with us](#) ▾

[nature](#) > [articles](#) > article

Article | [Open access](#) | Published: 05 July 2023

## Accurate medium-range global weather forecasting with 3D neural networks

[Kaifeng Bi](#), [Lingxi Xie](#), [Hengheng Zhang](#), [Xin Chen](#), [Xiaotao Gu](#) & [Qi Tian](#) 

[Nature](#) **619**, 533–538 (2023) | [Cite this article](#)

**185k** Accesses | **102** Citations | **1678** Altmetric | [Metrics](#)



ELTE | TTK

RRF-2.3.1-21-2022-00014  
Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium



e-mail: [adam.leelossy@ttk.elte.hu](mailto:adam.leelossy@ttk.elte.hu)  
<http://nimbus.elte.hu>

# 2023. november 14. – Google GraphCast

RESEARCH ARTICLE | WEATHER FORECASTING



## Learning skillful medium-range global weather forecasting

REMI LAM , ALVARO SANCHEZ-GONZALEZ

TIMO EWALDS , ZACH EATON-ROSEN , [...]

SCIENCE • 14 Nov 2023 • Vol 382, Issue 6677

181 666 10



Remi Lam



Alvaro Sanchez



Matthew Willson



Peter Wirsberger



Meire Fortunato



Ferran Alet



Suman Ravuri



Timo Ewalds



Zach Eaton-Rosen



Alex Merose



Stephan Hoyer



George Holland



Oriol Vinyals



Jacklynn Stott



Alexander Pritzel



Shakir Mohamed



Peter Battaglia



ELTE | TTK

Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium

RRF-2.3.1-21-2022-00014



NEMZETI LABOR

e-mail: [adam.leelossy@ttk.elte.hu](mailto:adam.leelossy@ttk.elte.hu)

<http://nimbus.elte.hu>

# 2024. január 19. – ECMWF AIFS



## Newsletter

No. 178 | Winter 2023/24

Capturing extreme rainfall events

AIFS: a new forecasting system

## AIFS: a new ECMWF forecasting system

Simon Lang, Mihai Alexe, Matthew Chantry, Jesper Dramsch, Florian Pinault, Baudouin Raoult, Zied Ben Bouallègue, Mariana Clare, Christian Lessig, Linus Magnusson, Ana Prieto Nemesio



ELTE | TTK

RRF-2.3.1-21-2022-00014  
Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium



e-mail: [adam.leelossy@ttk.elte.hu](mailto:adam.leelossy@ttk.elte.hu)  
<http://nimbus.elte.hu>

# ...eközben Sanghajban

[nature](#) > [npj climate and atmospheric science](#) > [articles](#) > [article](#)

Article | [Open access](#) | Published: 16 November 2023

## FuXi: a cascade machine learning forecasting system for 15-day global weather forecast

[Lei Chen](#), [Xiaohui Zhong](#), [Feng Zhang](#), [Yuan Cheng](#), [Yinghui Xu](#), [Yuan Qi](#)  &

[npj Climate and Atmospheric Science](#) **6**, Article number: 190 (2023) | [Cite this article](#)

**6910** Accesses | **8** Citations | **3** Altmetric | [Metrics](#)

| 6 Apr 2023

## FENGWU: PUSHING THE SKILLFUL GLOBAL MEDIUM-RANGE WEATHER FORECAST BEYOND 10 DAYS LEAD

A PREPRINT

Kang Chen <sup>1,2,\*</sup> Tao Han <sup>1,\*</sup> Junchao Gong <sup>1,3,\*</sup> Lei Bai <sup>1,\*,†</sup> Fenghua Ling <sup>4</sup> Jing-Jia Luo <sup>4</sup>

Xi Chen <sup>5</sup> Leiming Ma <sup>6</sup> Tianning Zhang <sup>1</sup> Rui Su <sup>1</sup> Yuanzheng Ci <sup>1</sup> Bin Li <sup>2</sup>

Xiaokang Yang <sup>3</sup>

Wanli Ouyang <sup>1</sup>

\* Equal Contributions, † Project Lead, [bailei@pjlab.org.cn](mailto:bailei@pjlab.org.cn)

<sup>1</sup> Shanghai Artificial Intelligence Laboratory

<sup>2</sup> University of Science and Technology of China



ELTE | TTK

RRF-2.3.1-21-2022-00014  
Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium



e-mail: [adam.leelossy@ttk.elte.hu](mailto:adam.leelossy@ttk.elte.hu)  
<http://nimbus.elte.hu>

...mindenhol van egy magyar

## Geophysical Research Letters\*

Research Letter |  Free Access

### A Machine Learning-Based Global Atmospheric Forecast Model


Troy Arcomano, Istvan Szunyogh , Jaideep Pathak, Alexander Wikner, Brian R. Hunt, Edward Ott

First published: 07 May 2020 | <https://doi.org/10.1029/2020GL087776> | Citations: 75

 SECTIONS

 PDF

 TOOLS

 SHARE

### Abstract

The paper investigates the applicability of machine learning (ML) to weather prediction by building a reservoir computing-based, low-resolution, global prediction model. The model is designed to take advantage of the massively parallel architecture of a modern supercomputer. The forecast performance of the model is assessed by comparing it to



ELTE | TTK

RRF-2.3.1-21-2022-00014  
Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium



e-mail: [adam.leelossy@ttk.elte.hu](mailto:adam.leelossy@ttk.elte.hu)  
<http://nimbus.elte.hu>



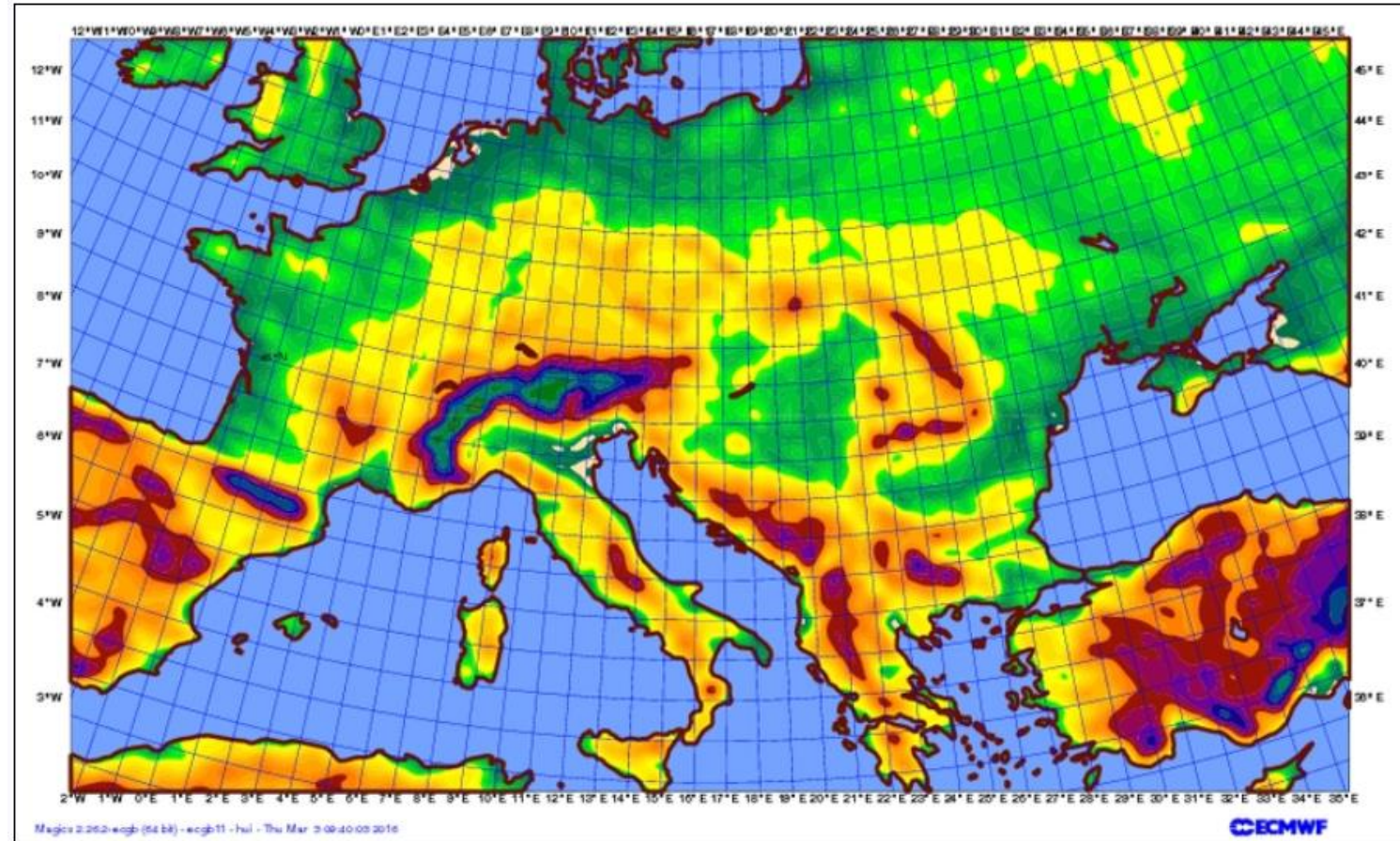
# Előrejelzési ciklus

Meteorológiai **analízis**mező:

- **A légkör pillanatnyi állapotát** legjobban reprezentáló rácsponti értékek
- **Modellrácsra simítva** (10–25 km)
- **Fizikailag konzisztens**

Analízis

Domborzat az  
ECMWF ENS  
modellben  
(felbontás kb. 18 km)  
Ábra: HungaroMet



# Előrejelzési ciklus

## Előrejelzés (Numerical Weather Prediction)



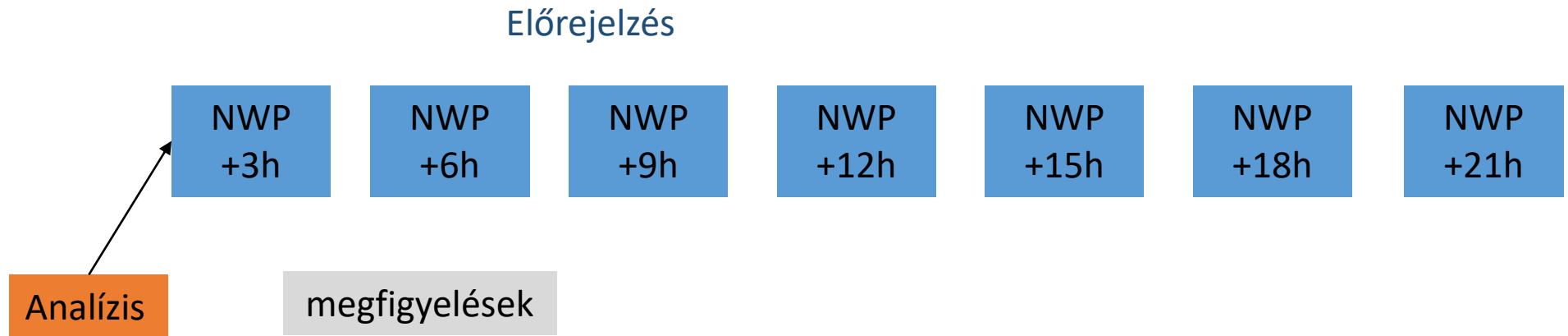
### Magyarországi települések - előrejelzés



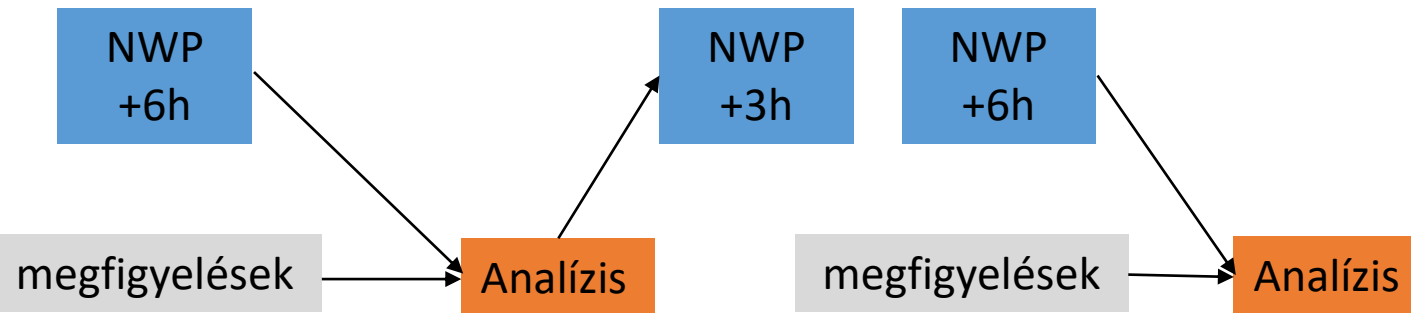
ábra: HungaroMet



# Előrejelzési ciklus



# Előrejelzési ciklus

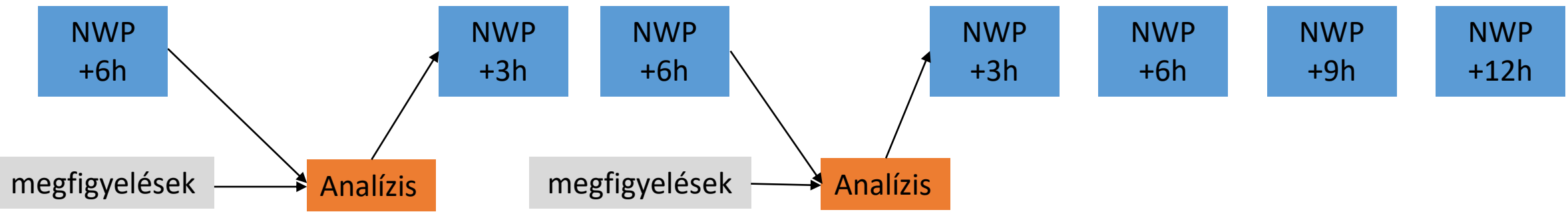


**Analízis = az előző (+6h) NWP előrejelzés az aktuális megfigyelésekkel korrigálva**

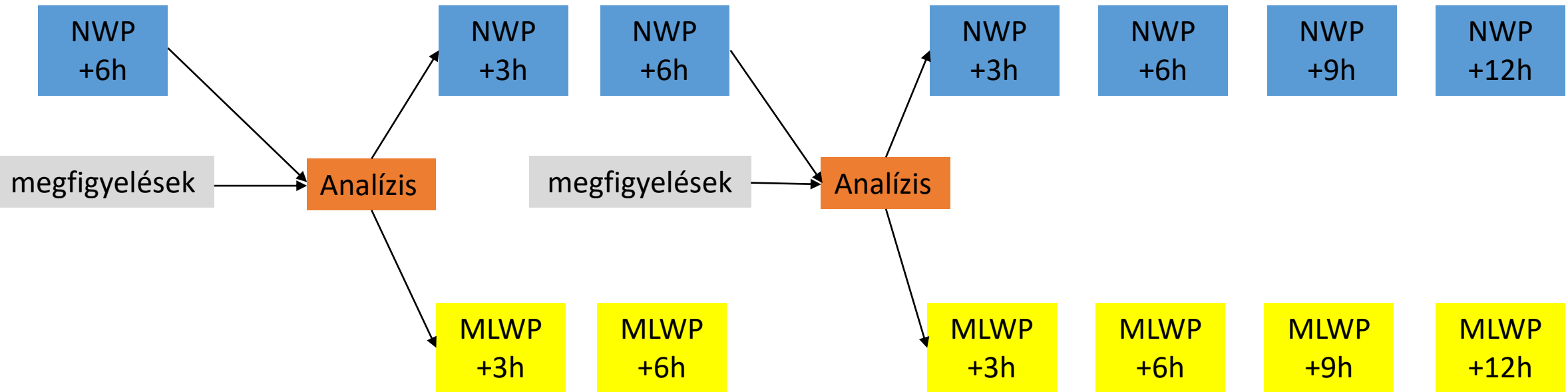
Meteorológiai **analízis**mező:

- **A légkör pillanatnyi állapotát** legjobban reprezentáló rácsponti értékek
- **Modellrácsra simítva** (10–25 km)
- **Fizikailag konzisztens!**

# Előrejelzési ciklus



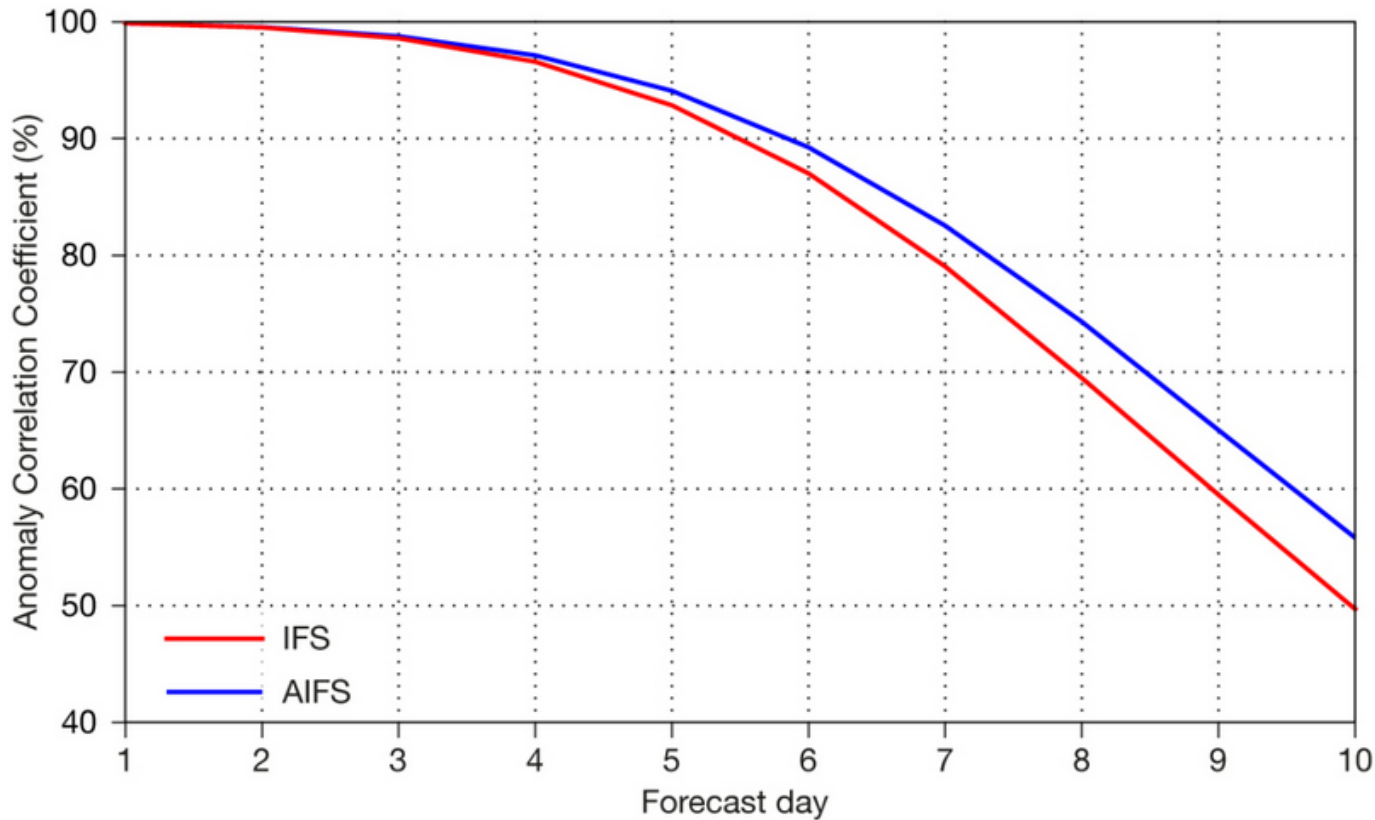
# Előrejelzési ciklus



**Az MLWP mesterséges intelligencia alapú légkörmodell is a fizikai modell által létrehozott analízisből indul.  
- és azon is tanult!**



# Az előrejelzés beválása

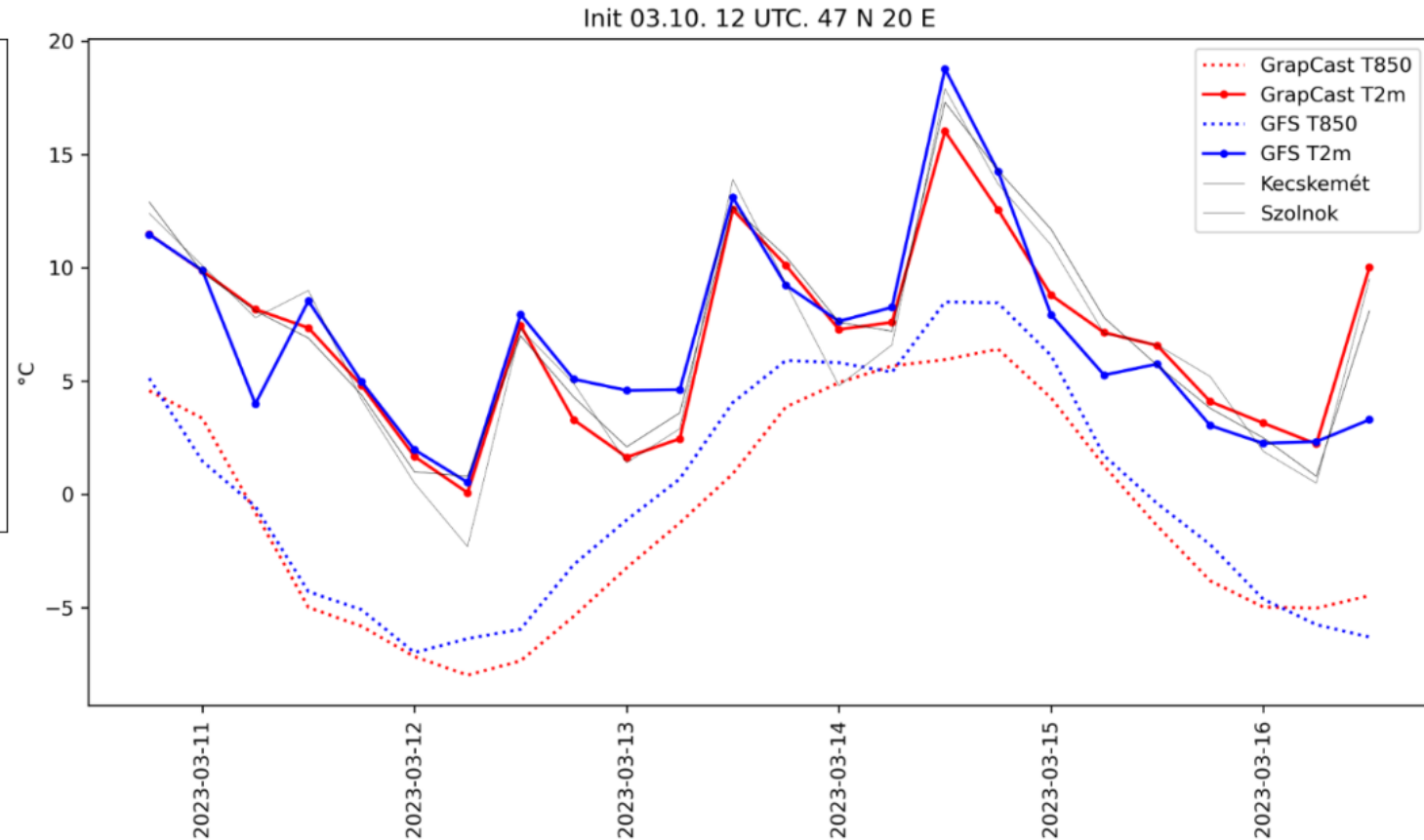
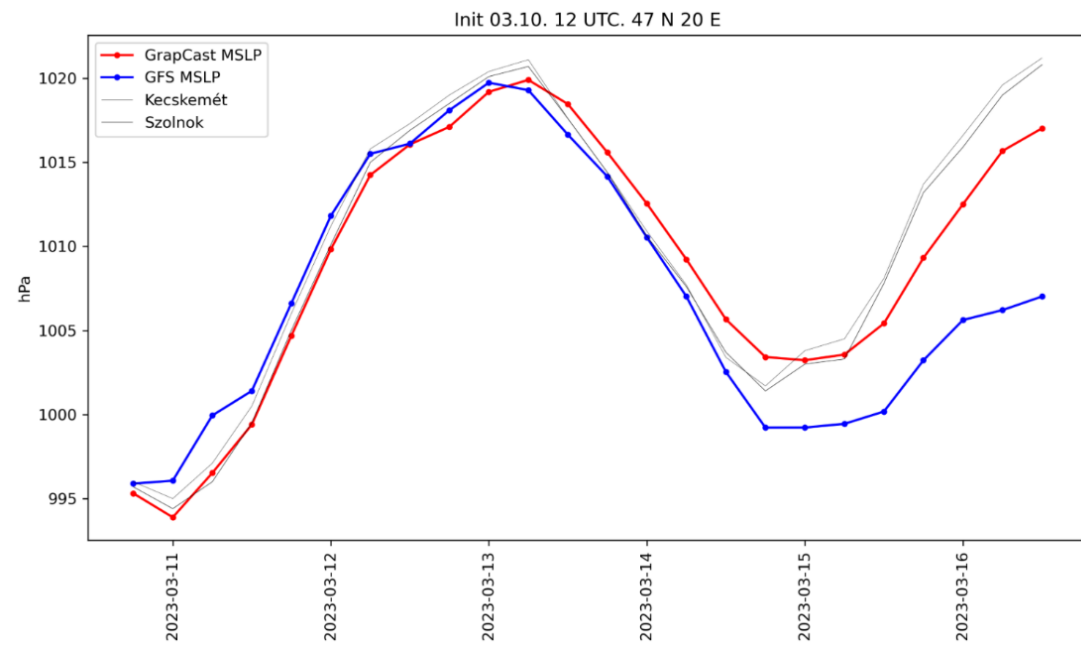


- ✓ 4–10 napos időtávon kb. fél-egy nap időelőny a fizikai modellekhez képest
- × Az első 12 órában gyengébb
- × Probléma: elmosódás
- × Éles határfelületek (frontok, viharok, tengerpartok) --> éppen ez lenne a legérdekesebb!

ábra: Lang et al., ECMWF Newsletter, 2024



# Az előrejelzés beválása



ábrák: Leelőssy Ádám, Varga-Balogh Adrienn, Varga László, ELTE





# Forradalom?

## AI is going to revolutionize the weather forecast

New machine-learning models work just as well as billion-dollar supercomputers, at a fraction of the cost — and they can learn from their mistakes.



Listen to this article

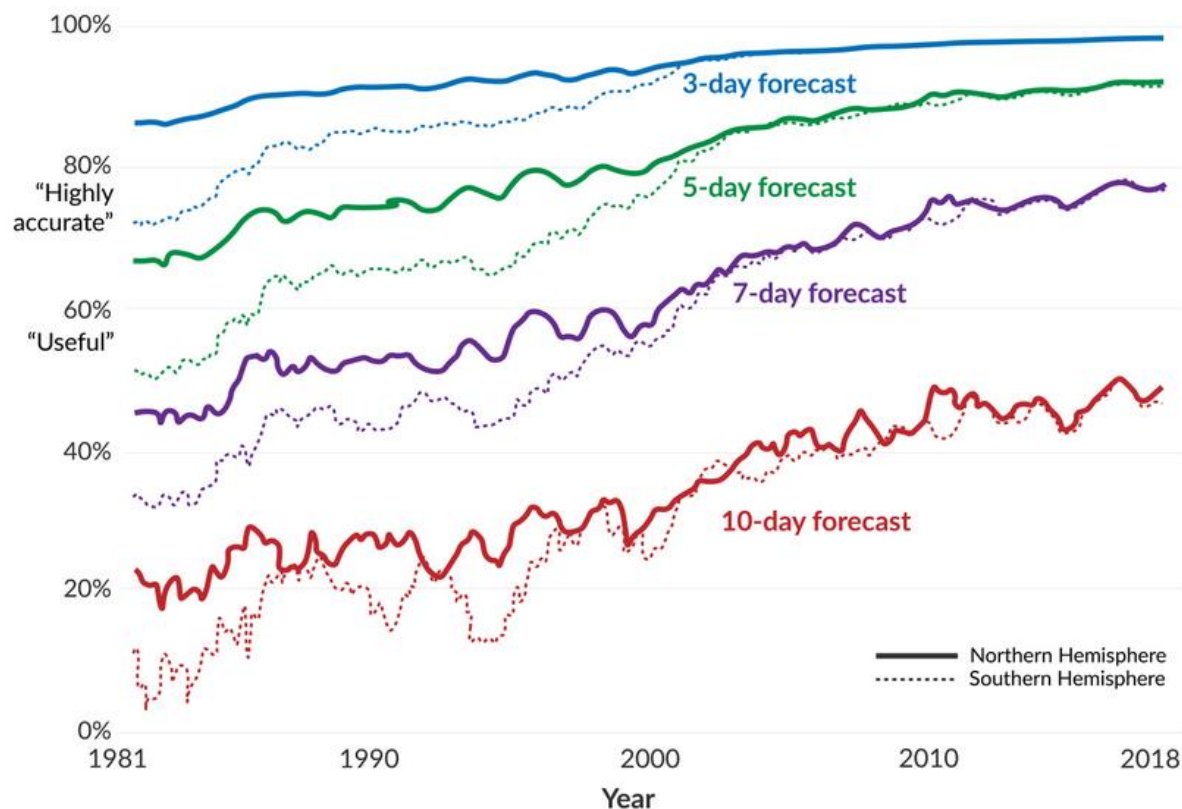
By Mike Wehner  
May 25, 2023

- ✓ Az első 12 órában gyengébb
- ✓ 4–10 napos időtávon kb. fél-egy nap időelőny a jelenlegi NWP-khez képest
- ✓ Múltbeli fejlődés: kb. 1 nap időelőny / évtized

## The accuracy of weather forecasts has improved

Accuracy is measured as the difference between the forecast and subsequent weather. This is based on the '500 hPa geopotential height' which is a common meteorological metric used to measure air pressure.

Our World  
in Data



Source: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).

Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie.



ELTE | TTK

RRF-2.3.1-21-2022-00014  
Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium



e-mail: [adam.leelossy@ttk.elte.hu](mailto:adam.leelossy@ttk.elte.hu)  
<http://nimbus.elte.hu>

# Forradalom?

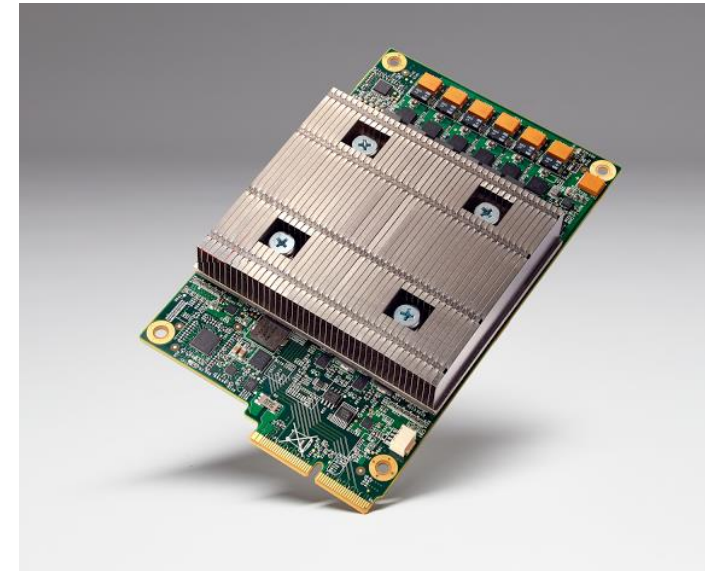
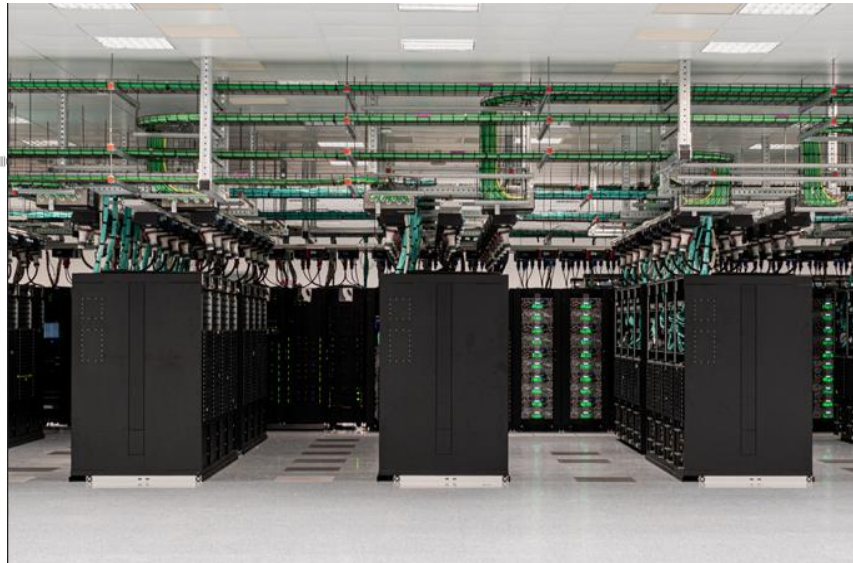
## AI is going to revolutionize the weather forecast

New machine-learning models work just as well as billion-dollar supercomputers, at a fraction of the cost — and they can learn from their mistakes.



Listen to this article

By Mike Wehner  
May 25, 2023



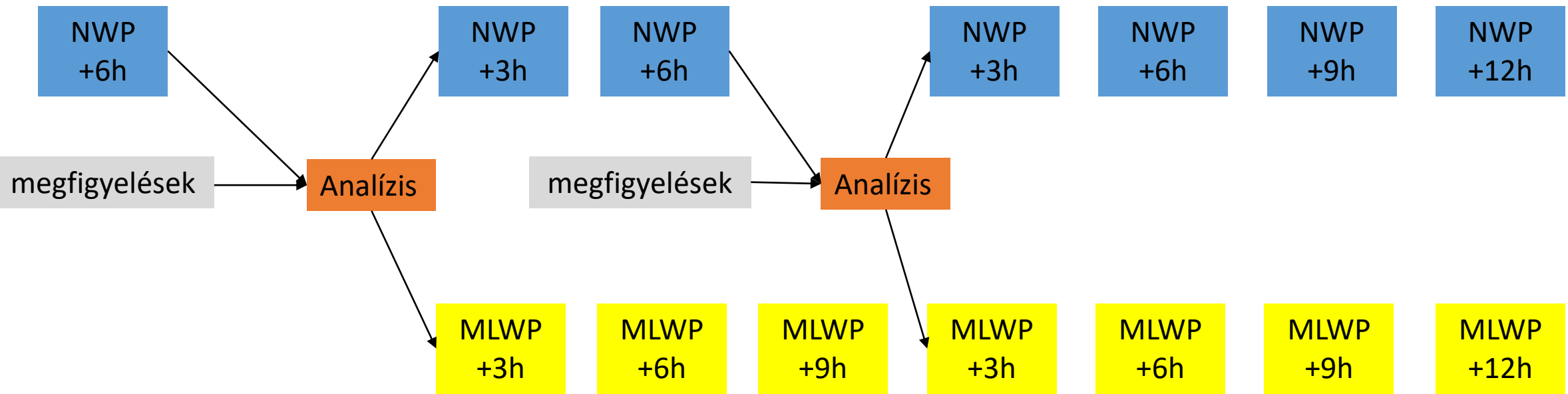
ELTE | TTK

RRF-2.3.1-21-2022-00014  
Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium



e-mail: [adam.leelossy@ttk.elte.hu](mailto:adam.leelossy@ttk.elte.hu)  
<http://nimbus.elte.hu>

# Mit kezdünk az idővel?



# Mit kezdünk az idővel?

Sok futtatás:

- ✓ valószínűségi eloszlások
- ✓ önjavító algoritmusok

Google DeepMind

2024-5-2

## GenCast: Diffusion-based ensemble forecasting for medium-range weather

Ilan Price<sup>\*,1</sup>, Alvaro Sanchez-Gonzalez<sup>\*,1</sup>, Ferran Alet<sup>\*,1</sup>, Tom R. Andersson<sup>1</sup>, Andrew El-Kadi<sup>1</sup>, Dominic Masters<sup>1</sup>, Timo Ewalds<sup>1</sup>, Jacklynn Stott<sup>1</sup>, Shakir Mohamed<sup>1</sup>, Peter Battaglia<sup>1</sup>, Remi Lam<sup>1</sup> and Matthew Willson<sup>1</sup>

<sup>\*</sup>Equal contribution, <sup>1</sup>Google DeepMind

Weather forecasts are fundamentally uncertain, so predicting the range of probable weather scenarios is crucial for important decisions, from warning the public about hazardous weather, to planning renewable energy use. Here, we introduce GenCast, a probabilistic weather model with greater skill and speed than the top operational medium-range weather forecast in the world, the European Centre for Medium-Range Forecasts (ECMWF)'s ensemble forecast, ENS. Unlike traditional approaches, which are based on numerical weather prediction (NWP), GenCast is a machine learning weather prediction (MLWP) method, trained on decades of reanalysis data. GenCast generates an ensemble of stochastic 15-day global forecasts, at 12-hour steps and 0.25° latitude-longitude resolution, for over 80 surface and atmospheric variables, in 8 minutes. It has greater skill than ENS on 97.4% of 1320 targets we evaluated, and better predicts extreme weather, tropical cyclones, and wind power production. This work helps

1 May 2024



ELTE | TTK

RRF-2.3.1-21-2022-00014  
Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium

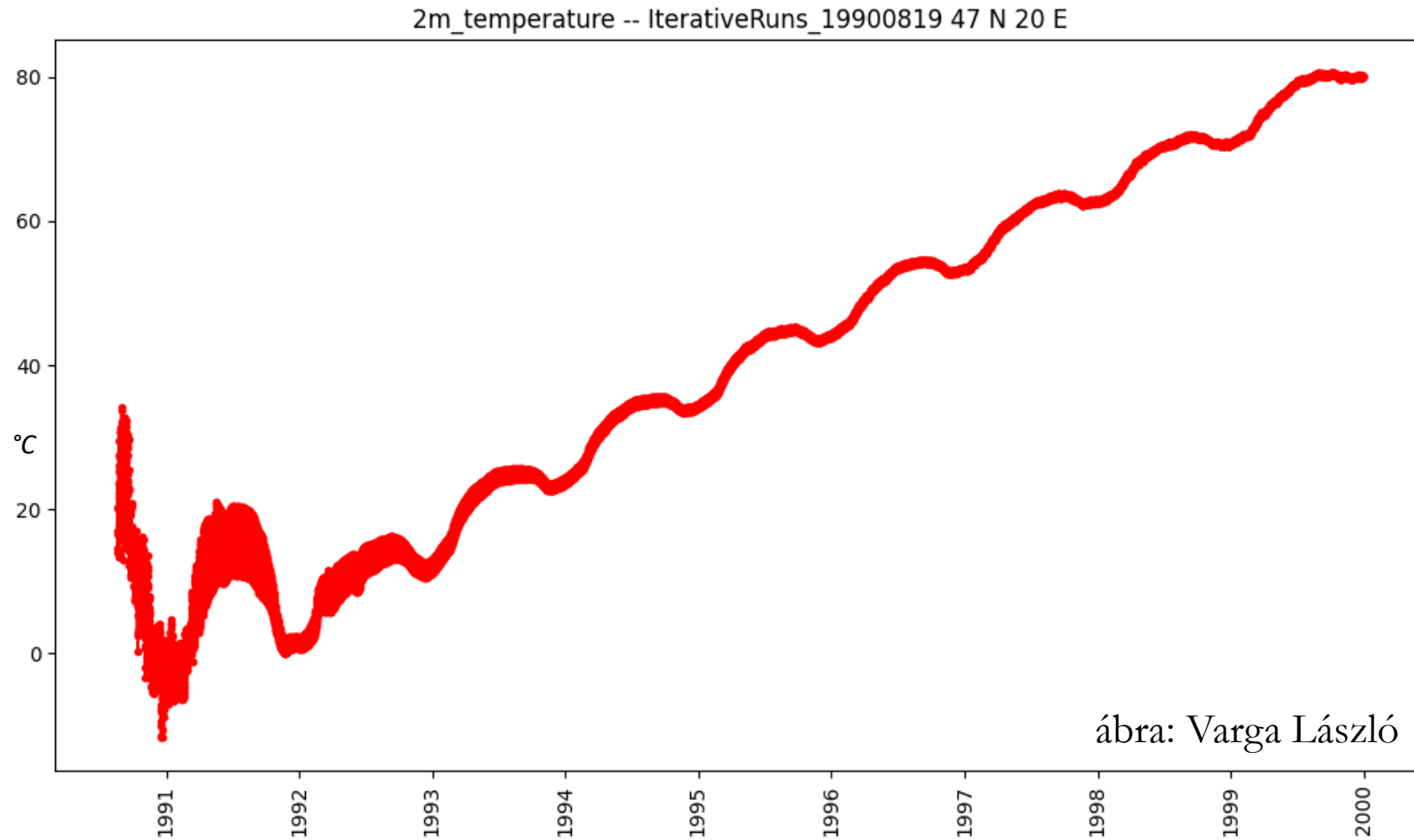


e-mail: [adam.leelossy@ttk.elte.hu](mailto:adam.leelossy@ttk.elte.hu)  
<http://nimbus.elte.hu>

# Mit kezdünk az idővel?

Sok futtatás:

- ✓ valószínűségi eloszlások,
- ✓ önjavító algoritmusok
- × Forgatókönyvek, szimulációs kísérletek
- × Hosszú távú (éghajlati) légkörszimulációk



# Mit kezdünk az idővel?

Sok futtatás:

- ✓ valószínűségi eloszlások,
- ✓ önjavító algoritmusok
  
- × Forgatókönyvek, szimulációs kísérletek
- × Hosszú távú (éghajlati) léghajlétszimulációk
  
- ? Demokratizálódás



# Merre tovább?

## ***Többé nem a számítási kapacitás korlátozza az előrejelzések készítését***

- ? Hogyan reagál erre a globális meteorológiai rendszer? (Mérőhálózat, adatcsere, szolgáltatók, tömegtájékoztatás...)
- ? „Bárki, bármikor” készíthet előrejelzést. (De miért tenné?)
- ? Mire lesz jó az MLWP *azon kívül*, hogy megtudjuk a jövő heti időjárást?

## ***A fizikai analízis használata nem optimális az MLWP-k számára (de jelenleg csak az van)***

- ? Lesz AI-optimalizált analízis? És az milyen?
- ? Lehetséges közvetlenül mérésekből tanítani a modellt?

## ***Mennyi fejlődési potenciál van még az MLWP-ben?***

- ? Lesz az előrejelzések pontosságában is forradalmi áttörés?

## ***Milyen lesz a kapcsolat a fizikai modellekkel?***

- ? Párhuzamosan fejlődik a két technológia, vagy lehet egyesíteni őket?



# Merre tovább?

## ***Többé nem a számítási kapacitás korlátozza az előrejelzések készítését***

- ? Hogyan reagál erre a globális meteorológiai rendszer? (Mérőhálózat, adatcsere, szolgáltatók, tömegtájékoztatás...)
- ? „Bárki, bármikor” készíthet előrejelzést. (De miért tenné?)
- ? Mire lesz jó az MLWP *azon kívül*, hogy megtudjuk a jövő heti időjárást?

## ***A fizikai analízis használata nem optimális az MLWP-k számára (de jelenleg csak az van)***

- ? Lesz AI-optimalizált analízis? És az milyen?
- ? Lehetséges közvetlenül mérésekből tanítani a modellt?



## ***Mennyi fejlődési potenciál van még az MLWP-ben?***

- ? Lesz az előrejelzések pontosságában is forradalmi áttörés?

## ***Milyen lesz a kapcsolat a fizikai modellekkel?***

- ? Párhuzamosan fejlődik a két technológia, vagy lehet egyesíteni őket?





# Merre tovább?

## ***Többé nem a számítási kapacitás korlátozza az előrejelzések készítését***

- ? Hogyan reagál erre a globális meteorológiai rendszer? (Mérőhálózat, adatcsere, szolgáltatók, tömegtájékoztatás...)
- ? „Bárki, bármikor” készíthet előrejelzést. (De miért tenné?)
- ? Mire lesz jó az MLWP *azon kívül*, hogy megtudjuk a jövő heti időjárást?

## ***A fizikai analízis használata nem optimális az MLWP-k számára (de jelenleg csak az van)***

- ? Lesz AI-optimalizált analízis? És az milyen?
- ? Lehetséges közvetlenül mérésekből tanítani a modellt?

ECMWF

## ***Mennyi fejlődési potenciál van még az MLWP-ben?***

- ? Lesz az előrejelzések pontosságában is forradalmi áttörés?

## ***Milyen lesz a kapcsolat a fizikai modellekkel?***

- ? Párhuzamosan fejlődik a két technológia, vagy lehet egyesíteni őket?

NVIDIA



# Köszönöm a figyelmet!

