

Oglas

N1

NAJNOVIJE

VIJESTI

SVIJET

SP 2026

SPORT

VRIJEME

N1 TEME

REGIJA

MAGAZIN

POMOC METEOROLOZIMA

Kako računala predviđaju vrijeme? Od sedam jednažbi fizike do umjetne inteligencije



Bojan Lipovščak | 25. srp. 2026. 14:17 | VRIJEME

1



Dodajte N1 u omiljeni Google izvor

Više



Philip FONG / AFP

Oglas

Kada danas otvorite meteorološku aplikaciju na mobitelu, računalu ili televizoru, vidite prognozu vremena. Iza nekoliko ikona sunca, oblaka ili kiše krije se jedan od najsloženijih operativnih sustava koje je čovječanstvo razvilo, sustav koji radi neprekidno, 24 sata

Oglas

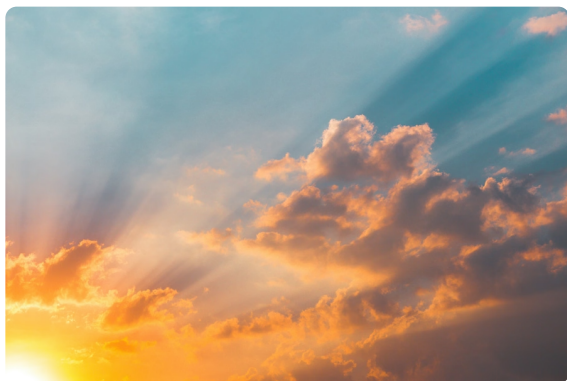
**dnevno, svih 36^X dana u godini,
odnosno 366 dana tijekom
prijestupne godine.**

Podijeli



Oglas

Neprekidni tok meteoroloških podataka slijeva se u mrežu prognostičkih centara, gdje se informacije filtriraju, provjerava im se kvaliteta i pripremaju se kao ulazni podaci za numeričke modele prognoze vremena. Podaci dolaze sa satelita, radiosonda, meteoroloških radara, meteoroloških postaja, brodova, plutača na morima i jezerima, zrakoplova, slobodno lebdećih balona i automatskih meteoroloških postaja.



Svi ti podaci ulaze u numeričke modele koji se izvršavaju na superračunalima sposobnima obaviti bilijune operacija u svega nekoliko sati. Prema gruboj procjeni, za jedan izračun modela Europskog centra za srednjoročnu prognozu vremena (ECMWF) priprema se oko 0,05 TB ulaznih podataka, dok izlaz čini globalna ansambl-prognoza za deset dana, velika između 50 i 100 TB. Za usporedbu, u 100 TB podataka moglo bi se pohraniti nekoliko stotina milijardi osnovnih zapisa o ljudima, poput imena, prezimena, adrese i OIB-a, višestruko više od ukupnog broja stanovnika Zemlje.

Svi ti podaci služe kao ulaz za izračun budućeg stanja atmosfere, a ono je određeno zakonima fizike. Na prvi pogled problem izgleda jednostavno jer se numerička prognoza vremena temelji na rješavanju svega sedam jednadžbi fizike koje opisuju stanje atmosfere. No postoji jedna ključna prepreka: te su jednadžbe nelinearne.

Osnova moderne prognoze vremena

U svim prognostičkim centrima temelj prognoze čine asimilacija meteoroloških mjerenja i izračun numeričkih modela koji simuliraju razvoj i premještanje vremenskih sustava na Zemlji. Ti modeli temelje se na fizici atmosfere i prikazu procesa pomoću fizikalnih parametara, dok matematički modeli iz početnog stanja atmosfere integracijom kroz vrijeme izračunavaju njezino buduće stanje.

Pritom se moraju poštovati zakoni fizike, termodinamike i dinamike fluida. Atmosfera je fluid, stišljiv je, rotira zajedno sa Zemljom i izrazito je nestabilan. Kako bi se opisalo stanje atmosfere na određenom području, model izračunava meteorološke parametre na trodimenzionalnoj mreži točaka. U svakoj od njih računaju se brzina vjetera u tri smjera, tlak, gustoća zraka, temperatura i vlaga te njihove promjene tijekom vremena.



**Nakon osvježenja
slijedi novi toplinski
val: Temperature će
dosezati i 40
stupnjeva**

VRIJEME | 24. srp.



**Stiže promjena
vremena: Očekuju
nas pljuskovi i
olujna bura**

VRIJEME | 23. srp.

Fizika atmosfere opisana je sa sedam jednažbi. Dvije jednažbe horizontalnog gibanja opisuju kako se zrak ubrzava pod utjecajem razlika tlaka, trenja i Coriolisove sile. Vertikalna jednažba gibanja objašnjava dizanje i spuštanje zraka. U globalnim modelima, primjerice na razini cijele Zemlje ili polutke, ona se često pojednostavljuje, dok se u modelima visoke rezolucije, primjerice za područje Balkana, koristi u punom obliku. Te tri jednažbe zajedno opisuju gibanje zraka.

Jednažba kontinuiteta osigurava očuvanje mase, odnosno činjenicu da zrak ne može ni nastati ni nestati. Termodinamička jednažba prati promjene temperature zbog širenja, sabijanja i izmjene energije. Jednažba vlage

opisuje vodu u svim agregatnim stanjima, dok jednadžba stanja povezuje tlak, temperaturu i gustoću zraka.



Atmosfera "kuha":
Dio zemlje zahvatit će novi val nevremena, obilni pljuskovi i jaka grmljavina

[VRIJEME](#) | 21. srp.



Sukob zračnih masa: I danas pljuskovi i grmljavina, evo što donosi novi tjedan

[VRIJEME](#) | 19. srp.

Zajedno čine zatvoren sustav kojim se fizika primjenjuje na atmosferu. Međutim, upravo zbog njihove nelinearnosti ne postoji potpuno točno rješenje. Model iz početnog stanja korak po korak, minuta po minuta, izračunava buduće stanje atmosfere, ali rezultat je uvijek aproksimacija.

Drugim riječima, i najmanja pogreška u početnim podacima, primjerice razlika od samo 0,1 Celzijeva stupnja, tijekom izračuna može se višestruko povećati. Da je sustav linearan, prognoza bi mogla ostati potpuno točna i nakon tridesetak dana simulacije. No upravo

nelinearnost u sustav unosi
kaos.

Gdje prognoza počinje gubiti pouzdanost

Meteorolozi mogu raspolagati
najboljim jednažbama fizike,
najnaprednijim superračunalima
i najsuvremenijim metodama
izračuna, ali i dalje neće dobiti
savršenu prognozu. Razlog je
jednostavan: početno stanje
atmosfere nikada nije moguće
izmjeriti potpuno precizno.

Oceani su i dalje relativno slabo
pokriveni mjerenjima, satelitska
promatranja imaju svoja
ograničenja, a u nelinearnom
sustavu svaka početna pogreška
s vremenom eksponencijalno
raste.

Kako bi se smanjio utjecaj te
nesigurnosti, danas se više ne
izrađuje samo jedna prognoza,
nego deseci njih istodobno.
Takav pristup naziva se ansambl
prognoza.

Model se pokreće 50 ili više puta,
pri čemu svaki član ansambla
polazi od neznatno izmijenjenih

početnih uvjeta. U svakom
pokretanju namjerno se uvode
vrlo male, matematički
izračunate promjene
temperature, tlaka ili vjetra.



**Umjetna
inteligencija kao
haker - novi horor
scenarij?**

TEHNOLOG... | 23. srp.



**Igor Kranjčec:
Umjetna
inteligencija ne
oprašta krive
podatke, ali
oslobađa vrijeme za
ono bitno**

VIDEO | 21. srp.

Ako svih 50 izračuna nakon pet
dana pokazuje kišu, prognoza se
smatra vrlo pouzdanom. Ako
polovica članova predviđa
sunčano vrijeme, a druga
polovica snijeg, jasno je da je
atmosfera izrazito nestabilna i
da je prognoza nesigurna.

Upravo iz tog omjera proizlaze
postoci vjerojatnosti koje
svakodnevno vidamo u
prognozama, primjerice "70
posto vjerojatnosti za kišu". Ako
svi članovi ansambla daju
gotovo isti rezultat, prognoza je
stabilna. Ako se međusobno
razilaze, raste nesigurnost, koja
se zatim izražava kroz postotak

vjerojatnosti ostvarenja
pojednog scenarija.

Umjetna inteligencija mijenja prognoziranje, ali ne zamjenjuje fiziku

Posljednjih godina razvijeni su brojni modeli umjetne inteligencije za prognozu vremena. Među najpoznatijima su GraphCast, koji je razvio Google DeepMind, Pangu-Weather tvrtke Huawei, GenCast, također Googleov model usmjeren na predviđanje vremenskih rizika do 15 dana unaprijed, te FourCastNet koji je razvila NVIDIA.

Istodobno, u Europskom centru za srednjoročnu prognozu vremena (ECMWF), čija je članica i Hrvatska, razvija se operativni sustav AIFS, temeljen na algoritmima umjetne inteligencije.

Prednost AI modela je brzina. Prognozu za cijeli planet mogu izračunati u svega nekoliko

sekundi, dok klasičnim
numeričkim modelima za jedan
cjeloviti prognostički ciklus
trebaju sati.



Meteoalarm upozorava na nevrijeme, temperature bi mogle pasti za više od 10 stupnjeva

[VRIJEME](#) | 17. srp.



Američka vojska je pokušala kontrolirati vrijeme i pretvoriti ga u oružje: Ova pogreška izazvala je katastrofu

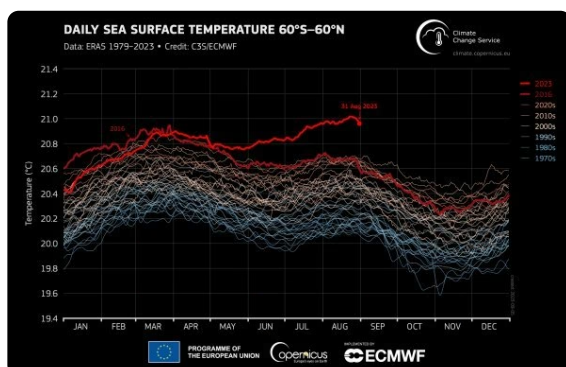
[SVIJET](#) | 17. srp.

No između klasičnih i AI modela postoji jedna suštinska razlika.

Klasični modeli izračunavaju fiziku atmosfere. Umjetna inteligencija fiziku ne poznaje, nego prepoznaje obrasce iz goleme količine podataka iz prošlosti.

To znači da fizikalni model može izračunati i ekstreman događaj koji se nikada prije nije dogodio, ako ga zakoni fizike dopuštaju. Umjetna inteligencija to ne može. Ako se susretne sa situacijom kakvu nikada nije "vidjela", sklona ju je podcijeniti.

Upravo zato klimatske promjene
i sve češći meteorološki
ekstremi predstavljaju
svojevrsni test za AI modele.



World Meteorological Organization / Autor:
C3S/ECMWF

Ključni je problem u tome što se
klima mijenja. Umjetna
inteligencija trenirana je na
podacima iz prošlosti i u svojem
sustavu nema ugrađenu
varijablu koja sama po sebi
opisuje promjene klime ili
povećanje i smanjenje pojedinih
meteoroloških parametara. AI
može prepoznati posljedice, ali
ne razumije njihove uzroke.

Ako se model umjetne
inteligencije nađe izvan raspona
podataka na kojima je treniran,
ulazi u područje povećane
nepouzdanosti i može početi
"halucinirati".

Fizikalni modeli nemaju taj
problem. Ako se u jednadžbama
poveća koncentracija

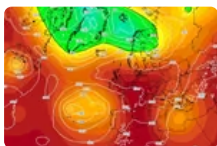
stakleničkih plinova, model će reagirati u skladu sa zakonima fizike: temperatura će rasti, atmosfera će sadržavati više vlage, a oborine će postati intenzivnije. Pritom nije važno je li se takva situacija već dogodila u prošlosti. Fizikalni model ne uspoređuje stare obrasce, nego iz ulaznih meteoroloških parametara izračunava buduće stanje atmosfere.

Kako spojiti fiziku i umjetnu inteligenciju

Kako bi se prevladala ograničenja umjetne inteligencije, danas se razvijaju tri glavna pristupa.

Prvi je treniranje AI modela na simulacijama buduće klime koje stvaraju fizikalni modeli.

Drugi je ugradnja fizikalnih ograničenja u same AI modele kako ne bi mogli kršiti osnovne zakone fizike.



Nakon kratkog predaha, u Europu stiže novi toplinski val? Evo što najavljuju meteorolozi

VRIJEME | 23. srp.



Toplinski valovi – zašto su sve češći, dulji i intenzivniji?

VRIJEME | 23. srp.

Treći, koji se smatra najperspektivnijim, razvoj je hibridnih modela koji sve više postaju standard moderne numeričke prognoze vremena.

U takvom sustavu fizikalni model ostaje temelj. On opisuje globalnu cirkulaciju, energetske ravnoteže, zračenje i klimatske trendove. Umjetna inteligencija preuzima računalno najzahtjevnije dijelove izračuna, poput mikrofizike oblaka, turbulencije i drugih procesa malih razmjera. Istodobno uspoređuje prethodno viđene obrasce s novim izračunima i odabire najsličnija rješenja.

Dodatna prednost umjetne inteligencije jest mogućnost da u vrlo kratkom vremenu generira ogroman broj mogućih scenarija te tako praktički proširi ansambl prognoza na razinu koja je

donedavno bila računalo
nedostižna.

Gdje završava model, a počinje meteorolog?

Numerički model ne daje
konačnu prognozu vremena,
nego skup mogućih rješenja.
Njihovo tumačenje i dalje je
posao meteorologa.

Upravo tada dolazi do izražaja
iskustvo prognostičara.
Meteorolog zna prepoznati
tipične pogreške pojedinog
modela, razumije kako se
određeni model ponaša u
specifičnim situacijama,
primjerice nad Jadranom ili u
područjima složene orografije, te
zna prepoznati slučajeve u
kojima ansambl stvara privid
sigurnosti iako je signal zapravo
nepouzdan.

Model pruža fizikalno dosljedan
okvir, ali procjena koji je scenarij
u tom okviru najvjerojatniji i
dalje ostaje ljudska odluka.
Upravo zato operativna
prognoza vremena, unatoč
velikom napretku umjetne

inteligencije, nije potpuno automatizirana.

Što zapravo gledate u meteorološkoj aplikaciji?

Kada u aplikaciji vidite podatak poput "70 posto vjerojatnosti za kišu", ne gledate samo prognozu vremena. Gledate rezultat složenog procesa u kojem sudjeluju milijuni meteoroloških mjerenja iz cijelog svijeta, superračunala, zakoni fizike, ansambl modeli i na kraju stručna interpretacija meteorologa.

Taj postotak proizlazi iz statistike ansambla, ali i iz razumijevanja njegovih ograničenja.

Drugim riječima, prognoza vremena nije samo rezultat računalnog izračuna. Ona je spoj fizike, računalne snage, umjetne inteligencije i ljudskog iskustva. Sedam jednadžbi fizike određuju što je u atmosferi moguće, umjetna inteligencija ubrzava pretragu mogućih scenarija, a meteorolog na kraju procjenjuje

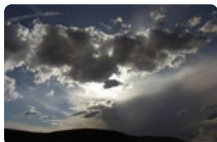
koji je od njih u danom trenutku najizgledniji.

PROČITAJTE JOŠ



Nutricionisti za ljeto preporučuju ovo voće: Puno je vode, antioksidansa i važnih minerala

[COOKING](#) | prije 2 h



Neka vas sunčano vrijeme ne zavarava: Već sutra stiže novo pogoršanje vremena

[VRIJEME](#) | prije 6 h



Kazna ili uništavanja poslovanja? Poduzetnici reagirali na zatvaranje kafića zbog nekoliko eura

[EKONOMIJA](#) | prije 3 h



Dodajte ova dva sastojka u vodu dok kuhate kukuruz: Svako zrno bit će mekano, sočno i slatko

[LIFESTYLE](#) | 21. srp.

Teme

[FIZIKA](#)

[METEOROLOGIJA](#)

[UMJETNA](#)

KAKVO JE TVOJE MIŠLJENJE O OVOME?

Pridruži se raspravi ili pročitaj komentare